

UNIVERSIDAD DE HUANUCO

ESCUELA DE POSGRADO

PROGRAMA ACADÉMICO DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA, CON
MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE



TESIS

**“OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES EN
PROCESOS HÍBRIDOS DE ELECTROCOAGULACIÓN Y OZONO EN
LA REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD EN EFLUENTES
PROVENIENTES DE AGUAS GRISES, EN LA PROVINCIA DE
HUÁNUCO - 2019”**

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
INGENIERÍA, CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y
DESARROLLO SOSTENIBLE

AUTOR: Salas Vizcarra, Cristian Joel

ASESORA: Campos Rios, Bertha Lucila

HUÁNUCO – PERÚ

2021

U

D

H



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANUCO
<http://www.udh.edu.pe>

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Protección del medio ambiente y equilibrio del ecosistema (agua conflictos ambientales)

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2018-2019)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería ambiental

Disciplina: Ingeniería ambiental y geológica

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible

Código del Programa: P26

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI):

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 19939411

Grado/Título: Magister en educación gestión y planeamiento educativo

Código ORCID: 0000-0002-5662-554X

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Jacha Rojas, Johnny Prudencio	Maestro en ingeniería de sistemas e informática con mención en: gerencia de sistemas y tecnologías de información	40895876	0000-0001-7920-1304
2	Camara Llanos, Frank Erick	Maestro en ciencias de la salud con mención en: salud pública y docencia universitaria	44287920	0000-0001-9180-7405
3	Tarazona Mirabal, Herman Atilio	Magister en salud pública y gestión sanitaria gestión y planeamiento educativo	22411008	0000-0001-5319-4708



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Escuela de Posgrado

ACTA DE SUSTENTACIÓN DEL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA

En la ciudad de Huánuco, siendo las 15:00 horas del día 13 del mes de enero del año 2021, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el Jurado Calificador mediante la plataforma virtual Google meet integrado por los docentes:

- Mg. JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS
- Mg. FRANK ERICK CAMARA LLANOS
- Mg. HERMAN ATILIO TARAZONA MIRABAL

Nombrados mediante resolución N° 012-2021-D-EPG-UDH; para evaluar la tesis intitulada **“OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES EN PROCESOS HÍBRIDOS DE ELECTROCOAGULACIÓN Y OZONO EN LA REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD EN EFLUENTES PROVENIENTES DE AGUAS GRISES, EN LA PROVINCIA DE HUÁNUCO - 2019”** Presentado por el Bach. **SALAS VIZCARRA, Cristian Joel** para optar el grado de maestro en Ingeniería, con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible.

Dicho acto de sustentación se desarrolla en dos etapas: exposición y absolución de preguntas procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros de jurado.

Habiéndose absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias procedieron a deliberar y calificar, declarándolo **aprobado** por **unanimidad** con calificativo cuantitativo de 15 y cualitativo de **Bueno**

Siendo las 16:27 horas del día miércoles 13 del mes de enero del año dos mil veintiuno, los miembros del jurado calificador firman la presente acta en señal de conformidad.

Presidente

Mg. Johnny Prudencio Jacha Rojas

Secretario

Mg. Frank Erick Camara Llanos

Vocal

Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal

DEDICATORIA

La presente tesis va dedicada con todo el amor del mundo a mi familia, que son las personas que amo con toda el alma, mis triunfos y el éxito no significa nada sin ellos.

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos profundos a:

Dios, mi familia, la Ing, Bertha Campos Ríos, Ing. Heberto Calvo Trujillo, por la confianza y la oportunidad de brindar la catedra y dar lo mejor de mí a los estudiantes de la Universidad de Huánuco.

INDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
INDICE.....	IV
INDICE DE TABLAS	VII
ÌNDICE DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XVI
CAPITULO I.....	19
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.1. Descripción del problema.....	19
1.2. Formulación del problema.....	20
1.2.1. Problema General.....	20
1.2.2. Problemas Específicos.....	21
1.3. Objetivo general	21
1.4. Objetivos específicos	21
1.5. Trascendencia de la investigación	21
1.6. Justificación de la investigación	22
CAPITULO II.....	23
MARCO TEÓRICO	23
2.1. Antecedentes de la investigación.....	23
2.1.1. Antecedentes internacionales	23
2.1.2. Antecedentes nacionales	25
2.2. Bases teóricas.....	26
2.2.1. Aguas grises	26
2.2.2. Características y flujos de aguas grises.....	27
2.2.3. Electroquímica	29
2.2.4. Clasificación de las celdas electroquímicas.....	30
2.2.5. Factores que afectan la electrocoagulación.....	33
2.2.6. Procesos de oxidación avanzada	35
2.3. Definiciones conceptuales	39

2.3.1.	Masa liberada.	39
2.3.2.	Porcentaje de remoción.	40
2.3.3.	Consumo de energía eléctrica.	40
2.3.4.	Aguas grises.	40
2.3.5.	Reactor electroquímico.	40
2.3.6.	Celdas electroquímicas.	41
2.3.7.	Procesos de oxidación avanzada.	41
2.3.8.	Electrodos.	41
2.3.9.	Coagulación.	41
2.4.	sistema de hipótesis.	41
2.4.1.	Hipótesis general.	41
2.4.2.	Hipótesis específica.	42
2.4.3.	Sistema de Variables	42
2.5.	Operacionalización de variables (Dimensiones e indicadores) ..	43
CAPÍTULO III		45
3.	MARCO METODOLÓGICO	45
3.1.	Tipo de investigación	45
3.1.1.	Enfoque.	45
3.1.2.	Alcance o nivel.	45
3.1.3.	Diseño.	45
3.2.	Población y muestra.	47
3.2.1.	Población	47
3.2.2.	Muestra.	47
3.2.3.	Lugar de estudio	48
3.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	48
3.4.	Técnicas para el procedimiento y análisis de la información	48
3.4.1.	Materiales	49
CAPÍTULO IV		52
4.	RESULTADOS	52
4.1.	Relatos y descripción de la realidad observada	52
4.1.1.	Los resultados se clasificaron en dos categorías:	53
4.1.2.	Intensidad de 0.5 amperios.	55
4.1.3.	Intensidad de 1.5 amperios.	56
4.1.4.	Intensidad de 2.4 amperios.	57

CAPÍTULO V	78
5. DISCUSIÓN	78
5.1. respecto a la reduCción de los parÁmetros.	78
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
5.2. CONCLUSIONES	80
5.3. Recomendaciones	81
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	82
ANEXOS.....	85

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR.	22
TABLA 2: CARACTERÍSTICAS DE AGUAS GRISES POR DIFERENTES CATEGORÍAS.	28
TABLA 3: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES.	43
TABLA 4: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE DEPENDIENTE.	44
TABLA 5: DIMENSIONES DE TRABAJO CON SU RESPECTIVO NIVEL DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE.	46
TABLA 6: MATRIZ DE EXPERIMENTOS.	46
TABLA 7: RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS ORGÁNICOS DEL EFLUENTE ANTES DE SU TRATAMIENTO.	51
TABLA 8 : RESUMEN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS SEGÚN METODOLOGÍA TAGUCHI Y SUS RESPECTIVOS RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS.	54
TABLA 9: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS A INTENSIDAD DE 0.5 AMPERIOS.	55
TABLA 10: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS A INTENSIDAD DE 1.5 AMPERIOS.	56
TABLA 11: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS A INTENSIDAD DE 2.4 AMPERIO.	58
TABLA 12: DESCRIPTIVOS DE LAS DIFERENCIAS (POST TEST – PRE TEST) EN LA TURBIEDAD, SST Y DQO, ORGANIZADOS SEGÚN LOS NIVELES DE INTENSIDAD DE LA CORRIENTE.	59

TABLA 13: DESCRIPTIVOS DE LAS DIFERENCIAS (POST TEST – PRE TEST) EN LA TURBIEDAD, SST Y DQO, ORGANIZADOS SEGÚN EL TIEMPO DE TRATAMIENTO.....	60
TABLA 14: DESCRIPTIVOS DE LAS DIFERENCIAS (POST TEST – PRE TEST) EN LA TURBIEDAD, SST Y DQO, ORGANIZADOS SEGÚN EL TIEMPO DE TRATAMIENTO.....	61
TABLA 15: DESCRIPTIVOS DE LAS DIFERENCIAS (POST TEST – PRE TEST) EN LA TURBIEDAD, SST Y DQO, ORGANIZADOS SEGÚN EL FLUJO DE OZONO.	62
TABLA 16: ANÁLISIS DE VARIANZA CONSIDERANDO LA INTENSIDAD DE CORRIENTE PARA EVALUAR SI OCASIONAN DIFERENCIAS EN LOS PROMEDIOS DE LOS TRES GRUPOS DE TURBIEDAD, SST Y DQO.....	63
TABLA 17: ANÁLISIS DE VARIANZA, CONSIDERANDO EL TIEMPO DE TRATAMIENTO PARA EVALUAR, SI OCASIONAN DIFERENCIAS EN LOS PROMEDIOS DE LOS TRES GRUPOS DE TURBIEDAD, SST Y DQO.....	64
.... TABLA 18: ANÁLISIS DE VARIANZA CONSIDERANDO EL FLUJO DE OZONO, PARA EVALUAR SI OCASIONAN DIFERENCIAS EN LOS PROMEDIOS DE LOS TRES GRUPOS DE TURBIEDAD, SST Y DQO.	65
TABLA 19: PRUEBA DE EFECTOS INTER SUJETOS CONSIDERANDO LA INTENSIDAD DE LA CORRIENTE Y EL TIEMPO DE TRATAMIENTO, PARA EVALUAR SI OCASIONAN DIFERENCIAS EN LOS PROMEDIOS DE LA TURBIEDAD.	66
TABLA 20: PRUEBA DE EFECTOS INTER SUJETOS CONSIDERANDO LA INTENSIDAD DE LA CORRIENTE Y EL FLUJO DE OZONO, PARA EVALUAR SI OCASIONAN DIFERENCIAS EN LOS PROMEDIOS DE LA TURBIEDAD.	67

TABLA 21: PRUEBA DE EFECTOS INTER SUJETOS CONSIDERANDO EL TIEMPO Y EL FLUJO DE OZONO, PARA EVALUAR SI OCASIONAN DIFERENCIAS EN LOS PROMEDIOS DE LA TURBIEDAD.	68
TABLA 22: PRUEBA DE EFECTOS INTER SUJETOS CONSIDERANDO LA INTENSIDAD DE LA CORRIENTE Y EL TIEMPO DE TRATAMIENTO, PARA EVALUAR SI OCASIONAN DIFERENCIAS EN LOS PROMEDIOS DEL SST.	69
TABLA 23: PRUEBA DE EFECTOS INTER SUJETOS CONSIDERANDO LA INTENSIDAD DE LA CORRIENTE Y EL FLUJO DE OZONO PARA EVALUAR SI OCASIONAN DIFERENCIAS EN LOS PROMEDIOS DEL SST.	70
TABLA 24: PRUEBA DE EFECTOS INTER SUJETOS CONSIDERANDO EL TIEMPO DE TRATAMIENTO Y EL FLUJO DE OZONO PARA EVALUAR SI OCASIONAN DIFERENCIAS EN LOS PROMEDIOS DEL SST.	71
TABLA 25: PRUEBA DE EFECTOS INTER SUJETOS CONSIDERANDO LA INTENSIDAD DE LA CORRIENTE Y EL TIEMPO DE TRATAMIENTO PARA EVALUAR SI OCASIONAN DIFERENCIAS EN LOS PROMEDIOS DEL DQO.	72
TABLA 26: PRUEBA DE EFECTOS INTER SUJETOS CONSIDERANDO LA INTENSIDAD DE LA CORRIENTE Y EL FLUJO DE OZONO PARA EVALUAR SI OCASIONAN DIFERENCIAS EN LOS PROMEDIOS DEL DQO.	73
TABLA 27: PRUEBA DE EFECTOS INTER SUJETOS CONSIDERANDO EL TIEMPO DE TRATAMIENTO Y EL FLUJO DE OZONO PARA EVALUAR SI OCASIONAN DIFERENCIAS EN LOS PROMEDIOS DEL DQO.	74
TABLA 28: PRUEBA DE EFECTOS INTER SUJETOS CONSIDERANDO LA INTENSIDAD DE LA CORRIENTE, TIEMPO DE TRATAMIENTO Y EL	

FLUJO DE OZONO PARA EVALUAR SI OCASIONAN DIFERENCIAS EN LOS PROMEDIOS DE LA TURBIEDAD.	75
TABLA 29: PRUEBA DE EFECTOS INTER SUJETOS CONSIDERANDO LA INTENSIDAD DE LA CORRIENTE, TIEMPO DE TRATAMIENTO Y EL FLUJO DE OZONO PARA EVALUAR SI OCASIONAN DIFERENCIAS EN LOS PROMEDIOS DEL SST.	76
TABLA 30: PRUEBA DE EFECTOS INTER SUJETOS CONSIDERANDO LA INTENSIDAD DE LA CORRIENTE, TIEMPO DE TRATAMIENTO Y EL FLUJO DE OZONO PARA EVALUAR SI OCASIONAN DIFERENCIAS EN LOS PROMEDIOS DEL DQO.	77
TABLA 31: MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	88

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: ESQUEMA DE UNA CELDA ELECTROQUÍMICA.	29
FIGURA 2: DIAGRAMA RESUMIDO DE ELECTROCOAGULACIÓN CON PRE-OZONIZACIÓN.....	37
FIGURA 3: PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN/OZONIZACIÓN.	38
FIGURA 4: RESUMEN DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN POST-OZONIZACIÓN.	39
FIGURA 5: DIAGRAMA DE FLUJO DEL EXPERIMENTO.	52
FIGURA 6: INTENSIDAD DE CORRIENTE EN AMPERIOS.	55
FIGURA 7: PORCENTAJE DE TURBIEDAD, SST Y DQO A 0.5 AMPERIOS.	56
FIGURA 8: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD, SST Y DQO A 1.5 AMPERIOS.....	57
FIGURA 9: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD, SST Y DQO A 2.4 AMPERIOS.....	58

RESUMEN

En este trabajo de investigación, se utilizó el proceso híbrido de electrocoagulación (CE) / ozono para el tratamiento de aguas grises. Se estudiaron los efectos de varios parámetros entre ellos la demanda química de oxígeno (DQO), SST y la turbiedad del agua gris.

El tipo de investigación tuvo un enfoque cuantitativo, con un nivel experimental por la manipulación de las variables, para luego usar métodos estadísticos. En la búsqueda de la mejor combinación de factores (variables), la cual el diseño de investigación, la consiste en hacer una serie de experimentos para obtener un efecto sobre la variable saliente.

Se trabajó con los valores de intensidad de corriente en 0.5, 1.5 y 2.4 amperios; dando como resultado con la intensidad de corriente de 0,5 amperios, una turbiedad de 62.22 %, en SST 85.44% y en DQO 49.59 %.

Con la aplicación de la intensidad de corriente de 1.5 amperios dio como resultado la reducción de turbiedad a un 82.64 % en SST, 91.20% y en DQO 68.29 %, que está cumpliendo con la normativa establecida.

Con la aplicación de la intensidad de corriente de 2.4 amperios dio como resultado la reducción de turbiedad a un 98.93 % en SST, 94.88 % y en DQO 89.43 %, que está cumpliendo con la normativa establecida.

Al haber mayor intensidad de corriente, produce mayor remoción en la turbiedad, el SST y en el DQO, ocasionando que los errores de estándar de la turbiedad y el SST disminuya al incrementarse la intensidad de corriente, siendo diferente en el caso al DQO.

En la intensidad de la corriente se encontró p-valores significativos por lo que nos quedamos con la hipótesis H1 en la turbiedad y en el DQO a diferencia del flujo de ozono que no se encontraron p-valores significativos en la turbiedad ni en SST.

Los Solidos totales sediméntales, fue un modelo significativo, por lo que nos quedamos con H1, que indica que existen diferencias en los grupos

debido a la participación de la Intensidad de la Corriente y el Tiempo de tratamiento, al igual que el DQO.

La investigación realizada demostró que la coagulación electroquímica es una técnica muy eficiente para emplearse para el tratamiento del agua. Ya que se usa ocho variables de diseño, así como materiales, configuración de electrodos, concentración de coagulante químico, solución de pH y temperatura, corriente eléctrica aplicada, mezcla frecuente y tiempo de tratamiento.

La coagulación electroquímica posee parámetros de diseño como la concentración del coagulante químico; en su tiempo de tratamiento la contribución fue significativamente mayor (40.4% y 25.7%) respectivamente hacia la eficiencia de eliminación de TOC, demostrando la alta capacidad de la coagulación química a integrar con electricidad técnica de coagulación para eliminar la materia suspendida y disuelta del agua contaminada.

Palabras claves: Electrocoagulación, desinfección, oxidación y ozonificación.

ABSTRACT

In this research work, the hybrid electrocoagulation (EC) / ozone process was used to treat gray water. The effects of various parameters including chemical oxygen demand (COD), OSH and turbidity of gray water were studied.

The type of research had a quantitative approach, with an experimental level for the manipulation of the variables, to then use statistical methods in the search for the best combination of factors (variables), which the research design, is to make a series of experiments to obtain an effect on the outgoing variable.

The current intensity values were worked at 0.5, 1.5 and 2.4 amps; resulting in the current intensity of 0.5 amps, a turbidity of 62.22%, in SST 85.44% and in COD 49.59%.

With the application of the current intensity of 1.5 amps resulted in the reduction of turbidity to 82.64% in SST, 91.20% and in COD 68.29%, which is complying with the established regulations.

With the application of the current intensity of 2.4 amps resulted in the reduction of turbidity to 98.93% in SST, 94.88% and in COD 89.43%, which is complying with the established regulations.

As there is greater current intensity, it produces greater removal in turbidity, the SST and the COD, causing the turbidity standard errors and the SST to decrease as the current intensity increases, being different in the case to the COD.

In the intensity of the current, significant p-values were found, so we stay with the H1 hypothesis in turbidity and in the COD unlike the flow of ozone that no significant p-values were found in turbidity or in SST.

The total sedimentary solids, was a significant model, so we stay with H1, which indicates that there are differences in the groups due to the participation of the Current Intensity and the Treatment Time, as well as the COD.

The research showed that electrochemical coagulation is a very efficient technique to be used for water treatment. Since eight design variables are used, as well as materials, electrode configuration, chemical coagulant

concentration, pH and temperature solution, applied electric current, frequent mixing and treatment time.

Electrochemical coagulation has design parameters such as the concentration of the chemical coagulant; in its treatment time the contribution was significantly greater (40.4% and 25.7%) respectively towards the elimination efficiency of TOC, demonstrating the high capacity of chemical coagulation to be integrated with coagulation technical electricity to eliminate suspended and dissolved matter from water contaminated

Keywords: Electrocoagulation, disinfection, oxidation and ozonation.

INTRODUCCIÓN

La cantidad de aguas grises que se producen en los últimos años, especialmente en los hogares, corresponde el 30% del total de uso de agua, según las literaturas el rango de producción de aguas grises por persona corresponde a 90-120 L en países adelantados, en países subdesarrollados 20-30 L. La calidad de las aguas grises varía de acuerdo al tipo de suministro, las actividades del hogar, la ubicación geográfica, etc. Las aguas que provienen de las lavanderías contienen alto contenido de sólidos suspendidos, turbidez, alto DBO_5 , y cargas termo tolerantes coliformes variables. Actualmente existen tecnologías que incluyen en su tratamiento sistemas biológicos, físicos y químico. Con la tecnología de electrocoagulación con acoplamiento de ozono se logra reducir los principales contaminantes de las aguas que provienen de las lavadoras de ropas. De acuerdo con la literatura, los POAs podrían mejorar la biodegradabilidad de aguas residuales industriales, eliminar micro-contaminantes del agua contaminada, proporcionando agua de alta calidad para Reciclar (Miklos et al, 2018).

La tecnología electroquímica de electrocoagulación con ozono es una tecnología emergente que consta de una celda electroquímica, electrodos (ánodos y cátodos), funciona con una fuente exterior comúnmente una corriente continua (rectificador), los electrodos que se utilizan son el aluminio y hierro, donde al poner en funcionamiento el electrodo seleccionado se sacrifica generando iones.

La electrocoagulación es una técnica utilizada para diversos contaminantes, su principio se basa en la tecnología de coagulación, en este caso al disolverse el electrodo desestabiliza a las partículas en suspensión (coloides) para que formen flóculos, finalmente separarlos del efluente por medio de tecnologías ya desarrolladas.

La electrocoagulación es una tecnología poco estudiada y desarrollada, aún en este sentido ha alcanzado su aplicación en importantes tratamientos logrando así superar a otras tecnologías con mayores ventajas hacia otras tecnologías tradicionales, esto hace que últimamente esta tecnología se

ponga de interés para su desarrollo y entender los fenómenos que ocurren en el tratamiento.

En la presente tesis, se demostró cuando se trabajó con los valores de intensidad de corriente en 0.5, 1.5 y 2.4 amperios; dando como resultado con la intensidad de corriente de 2.4 amperios dio como resultado la reducción de turbiedad a un 98.93 % en SST, 94.88 % y en DQO 89.43 %, que está cumpliendo con la normativa establecida.

Al haber mayor intensidad de corriente, produce mayor remoción en la turbiedad, el SST y en el DQO, ocasionando que los errores de estándar de la turbiedad y el SST disminuya al incrementarse la intensidad de corriente, siendo diferente en el caso al DQO.

La investigación realizada demostró que la coagulación electroquímica es una técnica muy eficiente para emplearse para el tratamiento del agua. Ya que se usa ocho variables de diseño, así como materiales, configuración de electrodos, concentración de coagulante químico, solución de pH y temperatura, corriente eléctrica aplicada, mezcla frecuente y tiempo de tratamiento.

La coagulación electroquímica posee parámetros de diseño como la concentración del coagulante químico; en su tiempo de tratamiento la contribución fue significativamente mayor (40.4% y 25.7%) respectivamente hacia la eficiencia de eliminación de TOC, demostrando la alta capacidad de la coagulación química a integrar con electricidad técnica de coagulación para eliminar la materia suspendida y disuelta del agua contaminada.

En la última década, los procesos híbridos han recibido una gran atención por parte de ingenieros para el tratamiento de diversos efluentes y aguas residuales. La electrocoagulación (CE) es un proceso eficaz para la separación de compuestos orgánicos e inorgánicos de las aguas residuales (Ghanbari et al. 2014).

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La baja de las propiedades y las características particulares del recurso agua, por los diferentes contaminantes, se ha convertido en un problema global que trae graves consecuencias. Con el fin de mejorar el entorno del agua, el manejo de los efluentes, el análisis de los patrones temporales y espaciales de la calidad del agua se están llevando a nivel mundial programas con tecnologías novedosas que buscan bajar la polución de las aguas grises y lograr una calidad que se encuentra dentro de los límites permisibles que obligan las entidades especializadas. Se estima que el 50- 75% del consumo de agua está relacionado con las aguas grises; por lo tanto, la reutilización de aguas grises puede ser una gran estrategia para el alivio de la escasez de agua (Schoen & Garland, 2017).

El uso considerado de las lavadoras a nivel mundial, se hace cada vez más usual, esto obliga a poner énfasis en buscar tecnologías que se utilicen para tratar dichos efluentes. Un ejemplo sobre la cantidad de efluente generado según los catálogos de los equipos es aproximadamente entre 45 a 62 litros por lavado.

En los hogares peruanos sobre el uso de lavadoras, se ve un incremento masivo por las facilidades que ofrece, uno de ellos es la facilidad de lavado, menor tiempo de lavado, esto hace que se incremente su uso, pero a la vez se incrementa la contaminación de las aguas grises, por la gran cantidad de agua que se utiliza por lavado.

El tratamiento de las aguas grises, en especial los que provienen de las lavadoras de ropas, pueden tratarse con esta tecnología que sería una manera de resolver los diferentes problemas que ocasionan.

Los sistemas de tratamiento híbrido son combinaciones de procesos químicos y biológicos, basados en dar soluciones que permiten incrementar

la calidad del agua de carácter sinérgico, incrementando su efectividad de manera viceversa (electrocoagulación y procesos de oxidación avanzada), estos procesos pueden estar indistintamente localizados como tratamiento previo o como tratamiento posterior.

La creciente demanda del agua para diferentes usos hace que se proponga esta tecnología para el tratamiento de aguas grises, por ser una tecnología emergente. La Electrocoagulación ha rematado ascender una explotación comercial interesante en el tratamiento de diversos contaminantes de forma puntual, en comparación con las demás tecnologías tradicionales para tratar las aguas residuales se ubica como un método de excelencia.

Para mejorar la productividad del proceso de electrocoagulación, se combinan el Proceso de Oxidación Avanzada (POA) con la corriente eléctrica (CE) para generar radicales libres para la oxidación de compuestos orgánicos. De hecho, el proceso de EC / AOPs es un proceso oxidativo-coagulativa que puede ser utilizado para la separación y la destrucción de una amplia gama de contaminantes (Aziz et al. 2016).

Este sistema es una técnica muy cómoda para el tratamiento real de las aguas grises que consta de contaminantes solubles y en suspensión, motivo por el cual el presente trabajo contribuirá a la solución de contaminación del componente agua y tener otros fines, como su reutilización para diferentes actividades que permita según sus parámetros.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Hacer una investigación es responder a las siguientes preguntas.

1.2.1. Problema General

¿En qué medida la optimización de los parámetros operacionales en procesos híbridos de electrocoagulación y ozono influyen en la remoción de la turbiedad en el tratamiento de las aguas grises, en la Provincia de Huánuco - 2019?

1.2.2. Problemas Específicos

¿Cuáles serán los parámetros físico químicos y biológicos de las aguas grises como efluente de entrada al reactor de electrocoagulación-ozono para su tratamiento?

¿Cuáles serán los factores y niveles de operación para el proceso híbrido de electrocoagulación y ozono en el tratamiento de aguas grises?

¿Cuál será la característica físico química y biológica del efluente tratado a la salida del proceso híbrido de electrocoagulación y ozono?

1.3. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la optimización de los parámetros operacionales en el proceso híbrido de electrocoagulación y ozono en la remoción de la turbiedad en efluentes provenientes de aguas grises, en la Provincia de Huánuco - 2019.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar los parámetros físicos químicos y biológicos del efluente a tratar.

Seleccionar los parámetros de operación en el tratamiento híbrido de electrocoagulación y ozono.

Evaluar los parámetros físico químico y biológico del efluente tratado a la salida del proceso de electrocoagulación y ozonificación.

1.5. TRASCENDENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

De los diferentes tipos de técnica para tratamiento de efluentes que existen en la actualidad, se ha escogido el método electroquímico híbrido de electrocoagulación con ozono (O_3), que corresponde a la electroquímica; para este estudio se ha diseñado un equipo diferente a lo tradicional tipo batch con recirculación nunca antes visto, por ende se ha optimizado las variables manipulables para conseguir eficiencia de la remoción en la turbiedad. La muestra para su estudio se extrajo de las aguas grises provenientes de los

domicilios de Huánuco, específicamente los que provienen de lavadoras domésticos.

1.6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Justificación social. - El aumento de la población en las grandes ciudades, así como el desarrollo de las tecnologías para el uso doméstico, (lavadora) han traído como consecuencia un incremento en los volúmenes de descargas, dando por consiguiente un efluente no apto para diversos usos.

Justificación tecnológica. - Para el desarrollo del trabajo se empleó una tecnología alternativa emergente para el tratamiento de las aguas grises, especialmente provenientes de las lavadoras domésticas, mediante este proceso nos permitió parcialmente eliminar algunos parámetros como turbidez, Sólidos Suspendidos Totales (SST), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) entre otros encontrados en el rango permitido.

Este trabajo de investigación tiene como una meta de cumplir con los parámetros establecidos según las entidades para el efluente del sector doméstico que fue aprobado en el Decreto supremo N°003 – 2010 - MINAM (Límites Máximos Permisibles para plantas de tratamiento de efluentes domésticas o municipales).

Tabla 1: Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR.

Parámetro	Unidad de medida	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	10 000
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	100
Demanda química de oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6.5 - 8.5
Sólidos suspendidos Totales	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: D.S. 003-2010-MINAM.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

Gelavizh Barzegara, Junxue Wub y Farshid Ghanbaric (2018), en el trabajo de investigación *“Enhanced treatment of greywater using electrocoagulation/ozonation: Investigation of: process parameters”*, que planteo el siguiente **objetivo**: Mejorar el efluente de aguas grises con el tratamiento de electrocoagulación / ozonización.

La investigación tiene un enfoque experimental, cuantitativo. La muestra se obtuvo de un dormitorio que conformaba de 210 estudiantes, la muestra consistió de aguas grises de diferentes sitios. Se hicieron diferentes pruebas preliminares con la finalidad de encontrar los mayores beneficios de los efectos de los variables de operación. Los **resultados** de mayor eficiencia fueron a pH = 7, intensidad de corriente a 15 mA/cm², caudal de ozono a 47.4 mg/L y en un tiempo de 60 minutos, logrando llegar a una eficiencia de eliminación de 85% de DQO, y 70% de Carbono Orgánico Total (TOC), en este trabajo también se investigó la eficiencia de otros agentes oxidantes. **Concluyendo** que el tiempo máximo de eliminación es a los 60 minutos, después de ahí, permanece constante no varía, por lo tanto la combinación con el agente oxidante que dio mayores eficiencias en la remoción de contaminantes es ozono, superando a los demás oxidantes. La hibridación que resultó de mayor eficiencia ha sido con el electrodo de hierro, mientras ese efecto no se vio con el aluminio. (Barzegara et al., 2018).

Asaithambi, Abdul y Wan Mohd (2016), en su trabajo de investigación *“Integrated ozone - electrocoagulation process for the removal of pollutant from industrial effluent: Optimization through response surface methodology”*, con el **objetivo** de desarrollar una nueva tecnología basada en la combinación de electroquímica y proceso de oxidación avanzada para tratar el efluente proveniente de una destilería y obtener el rendimiento del proceso mediante

el estudio de diversos parámetros de funcionamiento utilizando el diseño compuesto central, optimizando la respuesta mediante el uso de una metodología de superficie de respuesta.

Los **resultados** evidenciaron que hay mayor eficiencia en remover la carga contaminante en un proceso híbrido que electrocoagulación solo. Se utilizó la metodología de superficie de respuesta basado en el diseño compuesto central para optimizar varios parámetros de funcionamiento del proceso de electrocoagulación asistida con ozono para el tratamiento de efluentes industriales.

Concluyendo para este trabajo, efluentes de destilería fueron tratados por el proceso de electrocoagulación asistida ozono ozonización y electrocoagulación. Se realizó una comparación entre estos procesos en términos de color porcentaje y el traslado de la DQO. El proceso de electrocoagulación híbrido produjo 100% de eliminación de color y eliminación de la DQO 95%. Basándose en los resultados experimentales, una relación empírica entre la respuesta y las variables independientes. (Asaithambi et al., 2016).

Gholamreza (2018), en su trabajo de "*Tratamiento mejorado de aguas residuales de curtiduría usando el proceso de electrocoagulación combinado con UVC fotoreactor/ VUV*" con el **objetivo** de la reducción de Cr (VI), oxidación de sulfuros en la reacción tanto con Cr (VI) y la disminución de la DQO de las aguas residuales de curtiduría.

Es un trabajo de enfoque cuantitativo, experimental, se trabajaron con dos tipos de muestras, la primera con una sintética y la otra con la muestra del efluente de curtiembre. Se experimentó con la muestra sintética con la finalidad de determinar mejor los mecanismos. Se experimentó primero con la técnica de electrocoagulación como pre-tratamiento y después se evaluó con la técnica de VUV/UVC, con la finalidad de remover la turbidez y los sólidos suspendidos (CE). El **resultado** final es con un AOP (VUV/UVC) se proporcionan una oxidación simultánea, el cromo (VI) es reducido a cromo (III) a través de reducción avanzada y por último la eliminación de cromo total por

UVC/VUV por efecto de co-precipitación. **Concluyendo** que la técnica de combinación entre electrocoagulación y UVC/VUV dan buenos resultados con un 99.52% de eliminación de DQO, 100% de cromo total y 98.27% de sulfuro.

García (2016), en su tesis de “*Tratamiento sinérgico electroquímico-ozono de residuos de laboratorio que contienen fenolftaleína*” con el **objetivo** de evaluar el proceso de tratamiento electroquímico-ozono en la oxidación de un agua residual que contiene residuos.

Se realizó la investigación con un enfoque cuantitativo, el diseño es aplicado de contrastación tipo experimental. La muestra en estudio es de origen orgánico, que proviene de un laboratorio, de los cuales se trató utilizando las tres técnicas por separado como oxidación electroquímica con electrodo de diamante dopado de boro, el otro con ozono y la otra técnica con acoplamiento de las dos técnicas anteriores. Los **resultados** se obtuvieron con una eficiencia de 32% del acoplamiento de los dos métodos para la reducción de COT, mientras con el método electroquímico se obtuvo 21% de eficiencia para la remoción de COT y con el ozono se obtuvo 10% de COT, todo con un tiempo de 60 min. **Concluyendo** el método con mejor rendimiento fue el de acoplamiento de ambos. Para la mineralización completa se necesitaron un total de 120 min para la DQO.

La apreciación es la aplicación del método electroquímico utilizando no sólo electrodos de disociación, en este caso electrodos con cualidades especiales que tienen otras propiedades como la formación de iones hidroxilo, o agentes oxidantes de alto rendimiento sobre la superficie del electrodo con la finalidad de desmineralizar los contaminantes orgánicos e inorgánicos, una vez más la combinación de estos dos métodos incrementan la eficiencia en el tratamiento del efluente. (Gholamreza, 2018).

2.1.2. Antecedentes nacionales

Serrano (2017), en su tesis de “*Influencia de la densidad de corriente y la distancia entre electrodos en la remoción del color y demanda química de oxígeno de efluentes de recurtido usando la electrocoagulación – ozonificación*” en la Universidad Nacional de Trujillo con el **objetivo** de

optimizar las variables de operación para una mejor remoción del color del efluente proveniente de la etapa de recurtido.

Se realizó una investigación tipo cuantitativa, de diseño experimental. La muestra utilizada para la investigación procedió de la Curtiembre Ecológica del Norte, de la provincia de Trujillo. Las muestras se recolectaron en envases, de los cuales fueron llevadas a la Universidad para su posterior almacenamiento y conservación. Utilizó el diseño factorial para el proceso de electrocoagulación de $4 \times 2 \times 2$, con 3 repeticiones experimentales. Para la parte de ozonificación se utilizó la metodología de Thurhan y Zuhail. Teniendo como **resultado** la evidencia que trabajando de manera individual con el proceso de electrocoagulación se logró la máxima remoción de color y DQO, en cambio cuando se utilizó la combinación de electrocoagulación – ozonificación se logró una menor remoción de color, mientras del DQO se incrementó y **concluye** que utilizando la combinación de las técnicas de electrocoagulación – ozonificación con parámetros de 210 A/m^2 , 2 cm de distancia entre electrodos, $\text{pH} = 10$ y 90 minutos favorece para la remoción de DQO, en cambio para remover el color favorece solo la técnica de electrocoagulación.

Según mi apreciación sobre este trabajo de investigación puedo decir que al utilizar el ozono como un método para combinar con otros métodos influye de manera positiva, por lo tanto, este trabajo sirve como apoyo para quienes estén interesados en profundizar el tema de tratamiento de efluente utilizando ambos métodos. (Serrano, 2017).

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Aguas grises

La segregación de las aguas residuales domésticas en componentes de aguas negras y grises debe considerarse como un resultado significativo de nuevos desarrollos conceptuales sobre los residuos como recurso. Esto básicamente implica un cambio importante en el extremo convencional de la tubería enfoque adoptado habitualmente para comunidades residenciales, donde todas las corrientes de aguas residuales se mezclan, se transportan en el método de alcantarilla, y tratado conjuntamente las aguas residuales en la

estación depuradora. En general, las aguas grises se definen como aguas residuales urbanas sin ningún aporte de inodoros y, por lo tanto, incluyen fuentes de baños, duchas, lavamanos, lavadoras, lavavajillas y fregaderos de cocina (Jefferson et al., 2001). La aplicación comúnmente descrita para la reutilización de aguas grises es la descarga del inodoro / urinario, lo que puede reducir la demanda de agua dentro de la vivienda hasta en un 30%. Sin embargo, las aguas grises han sido considerado para muchas otras aplicaciones, incluido el riego (ya que a menudo contiene nutrientes valiosos) de céspedes en cementerios, golf cursos y campus universitarios; lavado de vehículos; protección contra incendios; agua para alimentación de la caldera; producción de hormigón; y preservación de humedales.

A la luz de la gestión sostenible del agua, la revisión aborda la descripción del mundo de las aguas grises enfocándose en importantes aspectos tales como (i) características y cantidades producidas, (ii) normas y directrices de reciclaje, y (iii) sistemas de tratamiento y reutilizar tecnologías.

2.2.2. Características y flujos de aguas grises

La cantidad de agua gris producida es muy diferente para edificios de diferente ocupación. A nivel de hogar, la cantidad producido es aproximadamente el 30% del uso total de agua. Con referencia a los países desarrollados, la literatura indica un volumen de aguas grises en el rango de 90-120 L / d por persona. Mientras que, en países de bajos ingresos, el volumen diario es menor con valores en el rango de 20-30 L / d por persona (Morel y Diener, 2006). En general, la cantidad de agua gris producida a nivel doméstico es aproximadamente igual al volumen de agua requerido para la descarga del inodoro. En cambio, para otro tipo de edificios como oficinas, la cantidad del agua gris producida es considerablemente menor que la requerida para el inodoro y la descarga de orina y es igual, respectivamente, al 27% y 60% del uso total de agua (Jefferson et al., 2001).

El contenido químico del agua gris depende de la fuente del agua. En general, las aguas grises se dividen en cinco categorías como visibles en la siguiente Tabla se aprecia la composición de los diferentes tipos de aguas

grises (Jefferson et al., 2001): baño, lavandería, cocina, lavavajillas y mixtos. La composición de las aguas grises depende de varios factores, incluidas las fuentes y las instalaciones de donde se extrae el agua. Por ejemplo, la calidad y el tipo de suministro de agua (pozo de agua subterránea o agua entubada), las actividades en el hogar (estilo de vida, costumbre y uso de productos químicos), instalación de la cual se extraen las aguas grises (fregadero de la cocina, baño, lavamanos o lavandería), ubicación geográfica, así como datos demográficos y nivel de ocupación. Basado en la literatura (Jefferson et al., 2001), los rangos de calidad de las diferentes categorías de aguas grises se presentan en la siguiente.

Tabla 2: Características de aguas grises por diferentes categorías.

Parámetros	Unidades	FUENTE DE PRODUCCIÓN				
		Baño	Lavandería	Cocina	Lavaplatos	Mixto
pH	--	6.4–8.1	7.1–10.0	5.9–7.4	8.2	6.3–8.1
TSS	mg/L	7–505	68–465	134–1300	100–440	25–183
Turbiedad	NTU	44–375	50–444	0–298	-	29–375
COD	mg/L	100–633	231–2950	26–2050	1300	100– 700
BOD	mg/L	50–300	48–472	536–1460	-	47–466
TN	mg/L	3.6–19.4	1.1–40.3	11.4–74	-	1.7–34.3
TP	mg/L	0.11–>48.8	ND–>171	2.9–>74	-	0.11–22.8
Coliformes Totales	CFU/100 ml	$10-2.4 \times 10^7$	$200.5-7 \times 10^5$	$>2.4 \times 10^8$	-	$56-8.03 \times 10^7$
Coliformes Fecales	CFU/100 ml	$0-3.4 \times 10^5$	$50-1.4 \times 10^3$	-	-	$0.1-1.5 \times 10^8$

Fuente: (De Gisi et al., 2015).

2.2.3. Electroquímica

La electroquímica estudia a los diferentes procesos y factores que alteran el transporte de cargas, por medio de un sistema que puede ser una solución o medio iónico sólido, sobre un sistema formado de dos fases, entre el electrodo y el sistema que le rodea, dichos estudios están basados por los principios de ecuación de Nernts, ley de Faraday, etc.

Las celdas electrolíticas son sistemas conformados por dos electrodos, y un medio donde ocurren reacciones tanto en la superficie del electrodo o en el medio de la solución, impulsada la reacción por una fuente externa, en este caso puede ser un rectificador de corriente continua, la más usada. Las celdas electroquímicas son de dos tipos una celda galvánica donde ocurren las reacciones de forma espontánea sin la influencia de una corriente exterior, y la otra celda que es parte de la investigación conocida como electrolítica. Existen diferentes celdas electrolíticas en función de su aplicación y diseño.

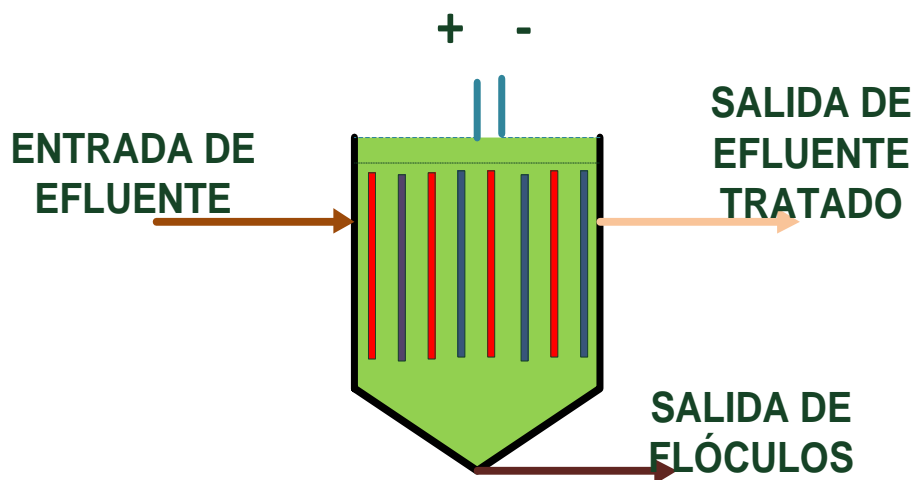


Figura 1: Esquema de una celda electroquímica.

Fuente: Elaboración propia

2.2.4. Clasificación de las celdas electroquímicas.

2.2.4.1. Electrólisis

Proceso que consiste en generar oxidación y reducción en los electrodos (ánodo y cátodo), donde hay pérdida de electrones y ganancia de electrones, las reacciones que suceden pueden ser directas o indirectas, influenciado por los electrodos y la operatividad de los factores de la celda. La electrolisis generalmente está presente en todas las demás celdas de operación.

2.2.4.2. Electrodeposición

La electrodeposición es una celda donde se reduce el ión metálico en el cátodo, generado por una corriente exterior, el metal se deposita en el cátodo, ocurre mediante la manipulación de los factores de operación, que pueden depositarse selectivamente. Los electrodos pueden ser de materiales especiales que permiten una buena deposición y no alteren el principio de la electroquímica.

2.2.4.3. Electrodialisis

Celda que consta de dos electrodos (ánodo y cátodo), separados por membranas aniónicas y catiónicas, las membranas pueden ser monopares o bipares, diseñadas de acuerdo al propósito estudiado. Este tipo de celda es usado para desionizar diversos tipos de efluentes, obteniéndose una de alta concentración en iones y otra con menor concentración.

2.2.4.4. Electrocoagulación

En esta tesis propuse el tema de electrocoagulación debido a que es un método alternativo para remover la turbiedad de los efluentes que provienen de las aguas grises en la provincia de Huánuco, ya que va a desestabilizar los contaminantes que se encuentran dentro del agua.

Este trabaja con energía eléctrica directo, pero con bajo voltaje conjuntamente con la acción de electrodos metálicos, normalmente con Aluminio/hierro. Se trata de un equipo compacto que opera en continuo,

mediante un reactor de especial diseño donde se hallan las placas o electrodos metálicos para producir la electrocoagulación.

(Barrera, 2014), La define como un proceso valioso para desestabilizar últimamente las partículas del agua natural o residual, usualmente se utiliza electrodos de aluminio o de hierro, y al aplicar la frecuencia eléctrica los ánodos producen iones de aluminio Al^{3+} o de hierro Fe^{2+} estos iones son excelentes coagulantes y pueden hidrolizarse cerca del ánodo para originar una cadena de intermediarios activados que son capaces de desestabilizar las partículas dispersas que se encuentran presentes dentro del agua, luego de la desestabilización se genera una acumulación de partículas formando flóculos. En cambio, en el cátodo se originan pequeñas burbujas de hidrógeno lo que deja que el floculo flote favoreciendo la separación de las partículas del agua residual.

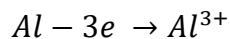
(Lavorante, Álvarez, Chantrill, & Fasoli, 2011), indican que cuando los iones metálicos integrados por oxidación del ánodo reaccionan con OH^- producidos en el cátodo por reducción del H_2O a H_2 . El hidróxido formado (rigurosamente, un óxido hidratado generalmente de hierro o aluminio trivalentes) actúan como agentes floculantes y adsorbentes del contaminante. Hay dos mecanismos propuestos para la formación anódica del hidróxido, siempre con formación de hidrógeno en el cátodo. En el primero de ellos, el hierro se oxida a Fe^{2+} y éste, por acción del oxígeno del aire, se hidroliza dando $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Según el otro mecanismo, el Fe^{2+} forma $\text{Fe}(\text{OH})_2$ el que posteriormente se oxida a $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Barrera, (2014) manifiesta que las técnicas electroquímicas no solo son comparables con otras tecnologías en término de costo, sino que resultan más eficientes y compactas.

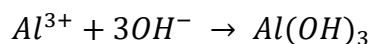
Los iones Al^{3+} o Fe^{2+} son coagulantes muy eficientes para la floculación de partículas, por lo que en electrocoagulación (EC) son frecuentemente utilizados electrodos de hierro o de aluminio. El aluminio es normalmente usado para el tratamiento de agua potable y el hierro para el tratamiento de aguas residuales. (Piña, Soberanis, et al, 2011).

Según (Piña, Soberanis, et al, 2011), las reacciones químicas que se llevan a cabo en el ánodo son las siguientes:

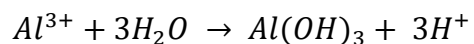
Para ánodo de aluminio:



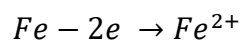
Para alcalino medio:



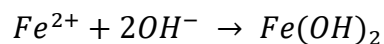
En medio ácidos:



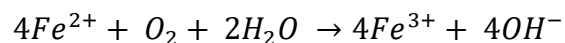
Para ánodo de hierro:



En medio alcalino:

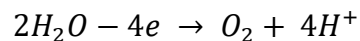


En medio ácido:

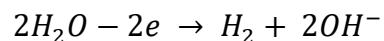


El oxígeno e hidrógeno es producido por la electrólisis del agua de la siguiente manera:

Para el ánodo es:



Para el cátodo es:



(Barrera, 2014) Nos brinda las siguientes ventajas del método de electrocoagulación:

- El presente método produce una superior y acelerada rotura de las emulsiones, para dividir aceites a comparación de otros equipos tradicionales.
- Los lodos originados en este método a comparación de los convencionales son inferiores, ya que realiza coagulación y flotación sincrónico.
- Permite la reducción de una amplia variedad de contaminantes, como: metales pesados, grasa y aceites, materia orgánica, fosfatos y cianuros.
- En lo económico; el coste de ejecución es mínimo, solo se necesita limitada corriente eléctrica y su mantenimiento tiene un presupuesto bajo.
- El resultado de la electrocoagulación se puede volver a procesar, pero ya como un subproducto, la cual permitirá reutilizar el efluente ya tratado.
- El equipo requiere de un espacio suficiente y su instalación es accesible.

2.2.5. Factores que afectan la electrocoagulación

Según Barrera (2014) señala 6 factores que afectan a la electrocoagulación que son las siguientes:

Densidad de corriente o carga, concentración de cloruros, temperatura, efecto pH, tipo de material de electrodos, diseño del reactor.

2.2.5.1. Densidad de corriente o carga

El abastecimiento de corriente a un método de electrocoagulación precisa la porción de iones Al^{3+} o Fe^{2+} liberados por los electrodos correspondientes.

Para el aluminio: La masa electroquímica es 335,6 mg/Ah (miligramos/amperio horas).

Para el hierro: Es 1041mg/Ah (miligramos/amperio horas).

Una corriente grande indica la unidad pequeña de electrocoagulación, además, existe la probabilidad de consumir energía eléctrica calentando el agua. (Arroyo, 2011, p. 28)

2.2.5.2. Conductividad

El aumento de la conductividad eléctrica, origina un crecimiento en la densidad de corriente, cuando sigue constante el voltaje alimentado a la celda de electrocoagulación, asimismo, el incremento de la conductividad manteniendo la densidad de corriente constante, produce una disminución del voltaje aplicado. La adición de algunos electrólitos tales como NaCl o CaCl₂ generan un aumento en la conductividad del agua residual, adicionalmente se ha encontrado que los iones de cloruro pueden reducir los efectos adversos de iones como HCO³⁻ y SO⁴⁻ pues la presencia de iones carbonatos o sulfatos pueden conducir a la precipitación de Ca²⁺ y Mg²⁺ produciendo una capa insoluble depositada sobre los electrodos, que aumentaría el potencial entre los electrodos decreciendo así la eficiencia de la corriente. Se recomienda, sin embargo, que para un proceso de electrocoagulación normal se mantengan cantidades de Cl⁻ alrededor del 20% (Arango, 2014, p. 91).

2.2.5.3. Temperatura

En cuanto al efecto de la temperatura sobre la electrocoagulación no fueron investigados a profundidad, sin embargo, se encontró que la eficiencia en la corriente aumenta al iniciar hasta llegar a los 60°C el punto donde se hace máxima, para luego disminuir. (Arango, 2014, p. 91).

2.2.5.4. Efecto pH

En los procesos de la electrocoagulación para las aguas grises, el efecto del pH se refleja en la eficiencia de corriente, así como en la solubilidad de hidróxidos metálicos. El pH de trabajo requiere mucho de la naturaleza de los

contaminantes; si bien, se descubrió que las eficiencias de corrientes del aluminio cuando estas están a condición alcalina o ácida, el pH se eleva a diferencia cuando se encuentra a condición neutra. En caso de las aguas residuales calificadas por mostrar el giro textil y color se han empleado electrodos de hierro. Se trato con influentes alcalinos obteniendo gran sustracción de color y de DQO. Los destacados en eliminación de contaminantes presentados o informados que al usar electrodos de aluminio resultan con cercanía a un pH neutro. (Arroyo, 2011, p. 29)

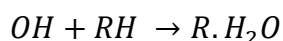
2.2.5.5. Tipo de material de los electrodos

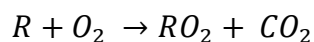
El hierro y el aluminio son los que frecuentemente se aplican en el método de electrocoagulación. En la modelación de electrodos, comúnmente es como un molde de platos ya sea de hierro o de aluminio; hallando que para tratar el agua lo importante es emplear electrodos de aluminio, por su elevada eficacia para autogenerar agentes coagulantes.

2.2.6. Procesos de oxidación avanzada

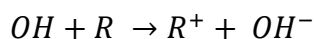
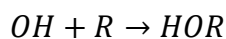
Estos procesos están conformados por agentes oxidantes que tienen la capacidad de oxidar a los contaminantes llevándolos a una forma biodegradable, estas operaciones pueden implantarse en las diferentes etapas de tratamiento de efluentes, es usado en combinación con otros tratamientos generando el efecto sinérgico con la electrocoagulación. Los más conocidos son el ozono, el peróxido de hidrógeno y rayos UV, etc. (Clemente, 2008).

Los OH producidos en la separación son los encargados de generar la oxidación de los compuestos orgánicos por detención del H^+ y creación de un radical orgánico, que posiblemente reaccione con el oxígeno atmosférico que van dando lugar a una sucesión de reacciones de degradación oxidante, logrando en momentos una mineralización completa. En las siguientes reacciones se muestra los pasos de las reacciones de oxidación del radical OH.

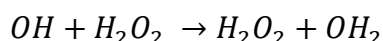
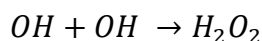




Los OH son capaces de proceder frente a los compuestos orgánicos por medio de otros mecanismos de reacción, por ejemplo: el aumento electrofílica o el traspaso de electrones.



De equivalente manera es factible reproducir recombinaciones entre °OH para generar peróxido de hidrógeno como también, radicales hidroperóxidos en asistencia de peróxido de hidrógeno. El radical hidroperóxido en absoluto contribuye en la degradación del contaminante, debido a que tiene una menor reactividad frente a los contaminantes.



Fundamentos de electrocoagulación y ozonización.

Son procesos de tratamiento donde se combinan ambas operaciones, dependiendo de la optimización de los factores se pueden localizar cada método de tratamiento.

2.2.6.1. Electrocoagulación con pre-ozonización.

Tratamiento establecido primero por un reactor de ozonización, seguido de un reactor tipo electrocoagulación, en este tipo de combinaciones no se presentan el efecto sinérgico de tratamiento, a continuación, en la figura N° 2 se muestra un esquema resumido de este tipo de tratamiento.

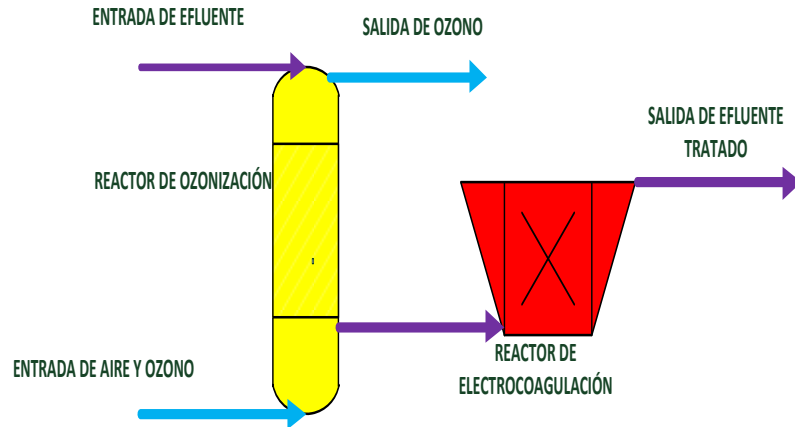


Figura 2: Diagrama resumido de electrocoagulación con pre-ozonización.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.6.2. *Electrocoagulación con ozonización.*

El tratamiento está basado en un solo reactor donde ocurre simultáneamente la electrocoagulación y la ozonización, en este tipo de tratamiento ocurre el efecto sinérgico que ocurre con el electrodo de hierro, donde se producen radicales hidroxilos de carácter oxidante, aumentando el porcentaje de eliminación de los parámetros en estudio (DQO, etc.). Estos procesos son los que dan mayor resultado en eliminar los contaminantes. En la figura N° 3 se observa un proceso resumido a este diseño.

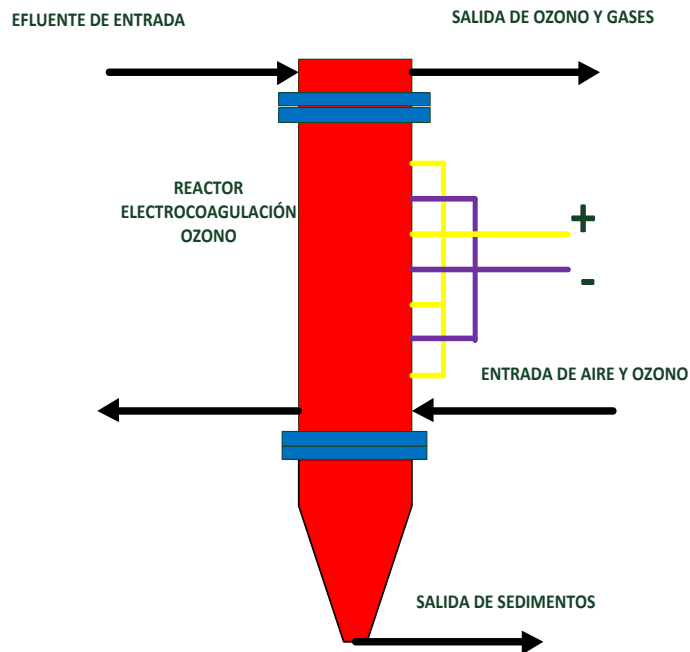


Figura 3: Proceso de electrocoagulación/ozonización.

Fuente: Elaboración propia

2.2.6.3. *Electrocoagulación con pos-tratamiento.*

En este tipo de tratamiento el efluente pasa primero por el reactor de electrocoagulación, seguido del reactor de ozonización, buscando mejorar la eficiencia de tratamiento, antes de ingresar al reactor de ozonización se debe instalar sedimentadores que ayuden separar los flóculos formados en el reactor electroquímico. En la figura N° 4 se muestra un resumen del tipo de tratamiento.

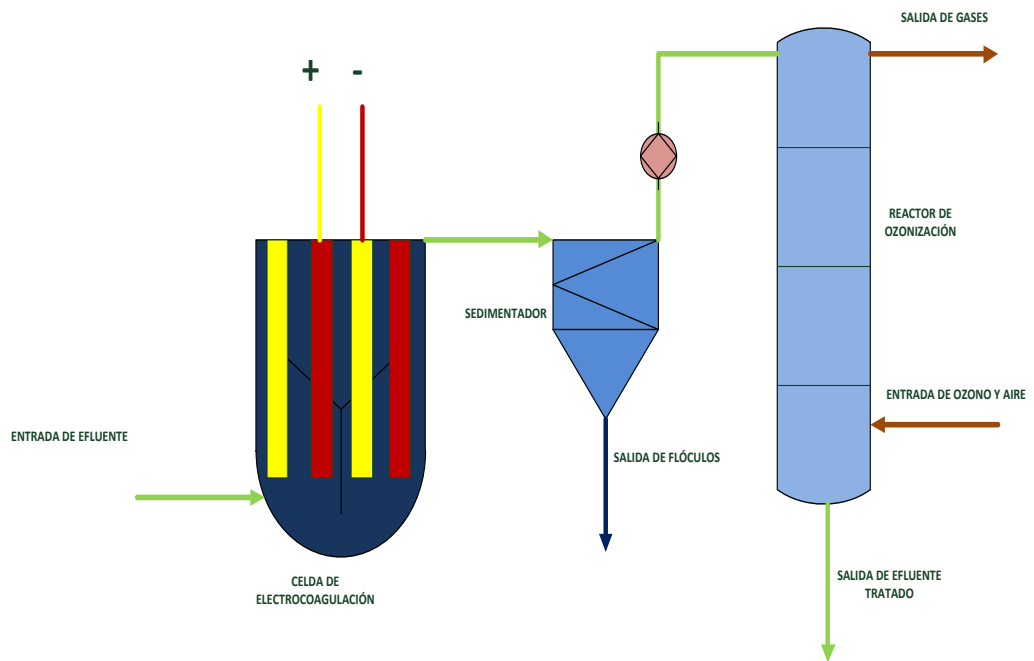


Figura 4: Resumen del proceso de electrocoagulación post-ozonización.

Fuente: Elaboración propia.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

2.3.1. Masa liberada.

La masa del electrodo disuelto se calcula con la expresión de la ley de Faraday expresada por:

$$n = (i * t) / (z * F)$$

Donde:

n = es el número de moles disueltos del metal.

i = Viene a ser intensidad de corriente suministrado en amperios.

t = Tiempo transcurrido del tratamiento en segundos.

F = es la constante de Faraday ($F = 96500 \text{ C mol}^{-1}$) y

z = es la carga del ión ($\text{Al} = +3$, $\text{Fe} = +2$).

2.3.2. Porcentaje de remoción.

El porcentaje de remoción se calcula con la siguiente ecuación:

$$\%R = \frac{Ci - Cf}{Ci} * 100\%$$

Dónde:

Ci = es la concentración inicial.

Cf = es la concentración final.

2.3.3. Consumo de energía eléctrica.

Se calcula con la ecuación:

$$C.E = UIt/Vf$$

Dónde:

C.E = Consumo de energía eléctrica (KW/m²).

V = es el voltaje aplicado a la celda.

I = es la intensidad de corriente suministrado.

t = es el tiempo de operación de la celda y

V = es el volumen del efluente tratado.

2.3.4. Aguas grises.

Las aguas grises son las que provienen de un domicilio y oficina (duchas, lavado de dientes, cocinas, etc.) pero no incluye los de inodoro que son efluentes altamente contaminantes (Leong et al. 2017).

2.3.5. Reactor electroquímico.

Recipiente donde ocurre reacciones electroquímicas, basados en transferencia de electrones, produciendo oxidación y reducción, por medio de electrodos y solución iónica (Gizi, 2017)

2.3.6. Celdas electroquímicas.

Sistema compuesto de dos a más electrodos que como medio de transporte de energía pueden ser de diferentes materiales, introducido en un medio acuoso, donde suceden reacciones redox, ya sea por medio de una fuente externa o espontáneamente (Song et al, 2008).

2.3.7. Procesos de oxidación avanzada.

Son procesos donde se generan radicales hidroxilos que se considera poderoso agente oxidante más que los otros agentes (ozono, peróxido, UV, etc.), estos radicales no son selectivos, generalmente estos procesos se usan en combinación con otras operaciones con la finalidad de generar el efecto sinérgico (García, 2017).

2.3.8. Electrodos.

Los electrodos son materiales que se usan en celdas electroquímicas, pueden ser de diferentes materiales, que se seleccionan en función de sus propiedades específicas, pueden ser electrodos de sacrificio, electrodos de referencia, etc. Se les conoce como ánodo y cátodo basado en su tipo de celda (Nielson & Smith, 2005).

2.3.9. Coagulación.

Operación que consiste en desestabilizar a las partículas suspendidas conocidas como coloides su carga, para luego sedimentarlo como flóculos, estos se realizan agregando un agente químico conocido como coagulante, los más conocidos están base se aluminio, hierro, etc. (Akiol, 2012).

2.4. SISTEMA DE HIPÓTESIS

2.4.1. Hipótesis general.

Hi: Mediante la adecuada optimización de los parámetros operacionales en procesos híbridos de electrocoagulación y ozono en la remoción de la turbiedad en el efluente de aguas grises, obtendremos un efluente que se encuentre dentro de las normas nacionales.

Ho: Mediante la adecuada optimización de los parámetros operacionales en procesos híbridos de electrocoagulación y ozono en la remoción de la turbiedad en el efluente de aguas grises, no obtendremos un efluente que se encuentre dentro de las normas nacionales.

2.4.2. Hipótesis específica.

Hi1: Al caracterizar los parámetros fisicoquímicos del efluente (aguas grises), procedentes de las lavadoras domésticas se espera conocer la composición de los contaminantes.

Ho1: Al caracterizar los parámetros físicos químicos y biológicos del efluente (aguas grises), procedentes de las lavadoras domésticas no se espera conocer la composición de los contaminantes.

Hi2: Al seleccionar de manera correcta los parámetros de operación (tiempo de tratamiento, concentración, caudal, densidad de corriente) se logrará alcanzar niveles altos de porcentaje de eliminación de contaminantes.

Ho2: Al Seleccionar de manera correcta los parámetros de operación (tiempo de tratamiento, concentración, caudal, densidad de corriente) no se logrará alcanzar niveles altos de porcentaje de eliminación de contaminantes.

Hi3: Al caracterizar los parámetros fisicoquímicos del efluente tratado a la salida del proceso de electrocoagulación y ozonificación se logrará conocer la composición de los contaminantes.

Ho3: Al caracterizar los parámetros físico químico y biológico del efluente tratado a la salida del proceso de electrocoagulación y ozonificación no se logrará conocer la composición de los contaminantes.

2.4.3. Sistema de Variables

2.4.3.1. Variable dependiente.

Es la respuesta que se obtiene al manipular las variables independientes, para este estudio se tendrá en cuenta la turbiedad como

estudio principal para la optimización de los parámetros, las demás variables dependientes a analizar sólo serán referenciales

- Turbiedad : Y1
- SST : Y2
- Demanda química de oxígeno (DQO) : Y3

2.4.3.2. Variable independiente.

Factores de operación del reactor electroquímico

- Intensidad de corriente : X1
- Tiempo de tratamiento : X2
- Flujo de entrada de ozono : X3

2.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)

Tabla 3: Operacionalización de variables independientes.

N°	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO
1	Intensidad de corriente	Corriente que ingresa al reactor electroquímico	Lectura en Amp/cm²	Multímetro
2	Tiempo de tratamiento	Tiempo necesario de tratamiento	Min	Cronómetro
3	Flujo de entrada de ozono	Flujo que ingresa al reactor	mg/h	Regulador

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 4: Operacionalización de variable dependiente.

N°	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO
1	Turbiedad	Carga organica e inorgánica	NTU	Equipo
2	SST	Solidos suspendidos y coloides	ppm	Equipo
3	Demanda química de oxígeno (DQO)	Consumo de oxígeno	ppm	Equipo

Fuente: Elaboración propia. 2019.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Analítico se establece relaciones para medir el grado de relación existente entre la variable independiente (factores de operacionales del módulo acoplado) y la variable dependiente (disminución de la turbiedad de las aguas residuales proveniente de lavadoras domésticas). Tiene un enfoque cuantitativo.

3.1.1. Enfoque

Es una investigación cuantitativa, conociendo las respuestas o las variables dependientes que se originan sobre la manipulación de los factores controlables, se pueden sacar conclusiones los cuales se usaran para probar las hipótesis mediante la utilización de métodos estadísticos y recomendar en el tratamiento de las aguas grises provenientes de las lavanderías domésticas (Hernández et al, 2010)

3.1.2. Alcance o nivel

Según lo planeado en la investigación, corresponde al nivel explicativo, porque se trata de manipular logrando la optimización de las variables independientes en busca de una mejor respuesta (Hernández et al, 2010)

3.1.3. Diseño

Es experimental, en la búsqueda de la mejor combinación de factores (variables), da lugar al diseño de investigación, la cual consiste en hacer una serie de experimentos para obtener un efecto sobre la variable saliente.

Para el diseño de investigación con respecto al diseño factorial serían de 3 niveles para cada factor (variables), para este caso se tienen 81 combinaciones o ensayos ($3^4 = 81$).

De estas 81 combinaciones de ensayos, sólo se van a reducir a 9 ensayos utilizando el método de Taguchi, este método ayuda a optimizar las

variables más influyentes para lograr resultados positivos, aquí mediante el arreglo ortogonal que consiste en reducir el número de experimentos, lo necesario.

Para este trabajo de investigación se tomó en cuenta las siguientes dimensiones de la variable independiente con sus respectivos niveles, en la siguiente tabla se aprecian las dimensiones con sus respectivos niveles de la variable independiente.

Tabla 5: Dimensiones de trabajo con su respectivo nivel de la variable independiente.

Variable independiente	Notación	Niveles		
Densidad de corriente	X1	0.5 A	1.5 A	2.4 A
Tiempo de tratamiento	X2	20 Min	40 Min	60 Min
Flujo de entrada de ozono	X3	1g/h	2g/h	2.5g/h

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestran las posibles combinaciones de los indicadores y niveles de la variable independiente para obtener un resultado positivo para los experimentos, esto se hizo con el diseño de Taguchi.

Tabla 6: Matriz de experimentos.

N°	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Y4
1	1	1	1	Y1	Y1	Y1	Y1
2	1	2	2	Y2	Y2	Y2	Y2
3	1	3	3	Y3	Y3	Y3	Y3
4	2	1	2	Y4	Y4	Y4	Y4
5	2	2	3	Y5	Y5	Y5	Y5
6	2	3	1	Y6	Y6	Y6	Y6
7	3	1	3	Y7	Y7	Y7	Y7

8	3	2	1	Y8	Y8	Y8	Y8
9	3	3	2	Y9	Y9	Y9	Y9

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

La población en estudio pertenece a la provincia de Huánuco, distrito de Huánuco, porque el resto de distritos a nivel provincia no cuentan con lavadoras por encontrarse en un estrato social diferente, por tratarse de zonas urbano rurales y delimitamos nuestra población por donde existen negocios de lavandería y tomamos las familias de determinado sector, que cuentan con lavadoras domésticas (15 viviendas).

3.2.2. Muestra

Se considera muestras representativas que provienen de efluentes de lavadoras domésticas con un volumen aproximado de 60 litros para toda la experimentación, se recolectó 3 litros para cada experimento que corresponde a la capacidad del reactor experimental.

Se determinó mediante el muestreo no probabilístico según criterio, se basa en el principio de equiprobabilidad, es decir, todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser elegidos para formar parte de una muestra; se realizó la estimación para una población conocida.

Fórmula para determinar el número de muestras para el desarrollo de la investigación:

$$n = \frac{z_{1-\alpha/2}^2 N \sigma^2}{(N-1)E^2 + z_{1-\alpha/2}^2 \sigma^2}$$

Donde:

n = muestra

N = 15 población

Z = nivel de confianza (1.96)

σ = desviación estándar (0.25)

E = error permisible (0.05)

Reemplazando los datos se obtiene:

$$n = 13$$

Se trabajó con 15 muestras para efectos de la investigación.

3.2.3. Lugar de estudio

En mi domicilio, con ayuda de un asesor externo especializado para caracterizar los parámetros físico químicos y biológicos de las muestras y remitirlas a un laboratorio especializado para validar los resultados.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Aplicación del Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, de acuerdo a la Resolución Ministerial N°273-2013-Vivienda. Se va a analizar las muestras de acuerdo a la normativa Standard Methods for the examination of water and wastewater (APHA). (APHA – AWWA - WEF (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd edition, 2012)

Así mismo, se tomó las muestras respetando los siguientes instrumentos como son:

- ✓ Registrar datos provenientes del trabajo en campo.
- ✓ Etiquetado o rotulado de las muestras del agua residual.
- ✓ Formato de registro de cadena de custodia.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

3.4.1. Materiales

3.4.1.1. Reactivos químicos

Los reactivos que se utilizaron tienen carácter de grado analítico:

- ✓ Agua destilada.
- ✓ Ácido clorhídrico.
- ✓ Soda caustica.

3.4.1.2. Elementos del proceso acoplado de electrocoagulación y ozono:

Electrodos

Los electrodos son de material de aluminio, con diseño geométrico circular de diámetro 10 cm, de espesor 3 mm, con 21 agujeros traspasados de diámetro 1 cm, distribuidos simétricamente en todo el electrodo, tanto para el electrodo de ánodo y cátodo se utilizaron el mismo material (aluminio), en total se utilizaron 8 electrodos. (Anexo panel fotográfico N°1)

Bomba de succión (lavadora doméstica)

Se utilizó una bomba para impulsar el efluente hacia el reactor de electrocoagulación, en este caso es una bomba de lavadoras domésticas. (Anexo panel fotográfico N°2)

Generador de ozono

Es un generador de ozono de capacidad máxima de 3 g/h, es un equipo donde se puede regular la salida del ozono de acuerdo a la cantidad que uno desea. (Anexo panel fotográfico N°3)

Venturi

Se utilizó un Venturi, para el ingreso del ozono. (Anexo panel fotográfico N°4)

Flujómetro.

Se utilizó un flujómetro, para determinar el caudal del efluente. (Anexo panel fotográfico N°5)

Rectificador de corriente

Se utilizó un rectificador de corriente, para poder realizar la variación de las intensidades de corriente. (Anexo panel fotográfico N°6)

3.4.1.3. Equipo experimental

El equipo experimental fue construido de material acrílico y la parte de la estructura de hierro, la forma del reactor de electrocoagulación es cilíndrica, con un flujo ascendente, el equipo consta de 8 electrodos de forma de platos circulares, conectados en configuración monopolar, se trabajó con un volumen de 3 litros de muestra, en un proceso tipo Bach.

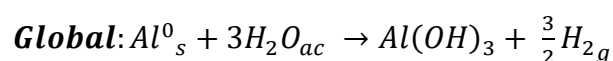
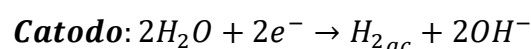
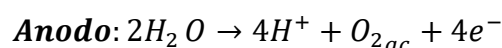
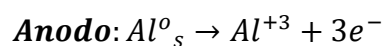
Se trabajó con una bomba, con el cual se impulsa y se hace recircular la muestra, haciendo pasar por el flujómetro y Venturi haciendo un ciclo cerrado. Se utilizó tubería de media pulgada para agua caliente, con accesorios que complementan el sistema de armado. Los electrodos fueron atravesados con barrillas de acero inoxidable para una mejor conexión y contacto de la corriente eléctrica. A continuación, se muestra en el diagrama del equipo ya construido listo para sus corridas diseñadas.

Diagrama del módulo acoplado de electrocoagulación y ozono. (Anexo panel fotográfico N°7)

El área efectiva de los electrodos de ánodo es $124.03 \text{ cm}^2/\text{unidad}$.

3.4.1.4. Ensayos preliminares para el buen funcionamiento de la celda

Antes de empezar las corridas diseñadas, se realizaron una serie de ensayos preliminares, con la finalidad de ver la buena conexión de las tuberías, algunas fugas y escapes, la buena conexión de la corriente hacia los electrodos, y ver en función del desprendimiento de gases en los electrodos, tanto de oxígeno e hidrógeno. Las reacciones que ocurren en la celda de electrocoagulación son:



➤ Caracterización físico-química y biológica del efluente

Los efluentes de las lavadoras domésticas fueron analizados antes y después de su tratamiento para después ser comparada con los parámetros establecidos según la norma. Los análisis de los parámetros fisicoquímicos y orgánicos del efluente antes de su tratamiento se muestran en el siguiente cuadro.

Tabla 7: Resultados de los parámetros orgánicos del efluente antes de su tratamiento.

Parámetros fisicoquímicos y biológicos	Unidades	Resultado
Demanda química de oxígeno	mg/L	123
Turbiedad	NTU	87.6
Sólidos suspendidos totales	mg/L	625

Fuente: Elaboración propia.

3.4.1.5. Procedimiento experimental definitivo

Todas las pruebas se efectuaron a temperatura ambiente, se manipularon los tres factores con sus respectivos niveles, basados como respuesta de estudio la turbiedad, los demás parámetros se analizaron como referencia. Antes de cada experimento realizado los electrodos se lijaron con una lija fina, después se sumergieron en una solución de ácido clorhídrico al 10% y después con una solución de soda al 10 %, para luego lavar con agua destilada.

Después de cada experimento las muestras se enviaron a un lugar certificado para su análisis posterior.

Para mejor entendimiento se presenta el diagrama de flujo del experimento, incluyendo la descripción de su operación, las respuestas alcanzadas y los puntos de muestreo.

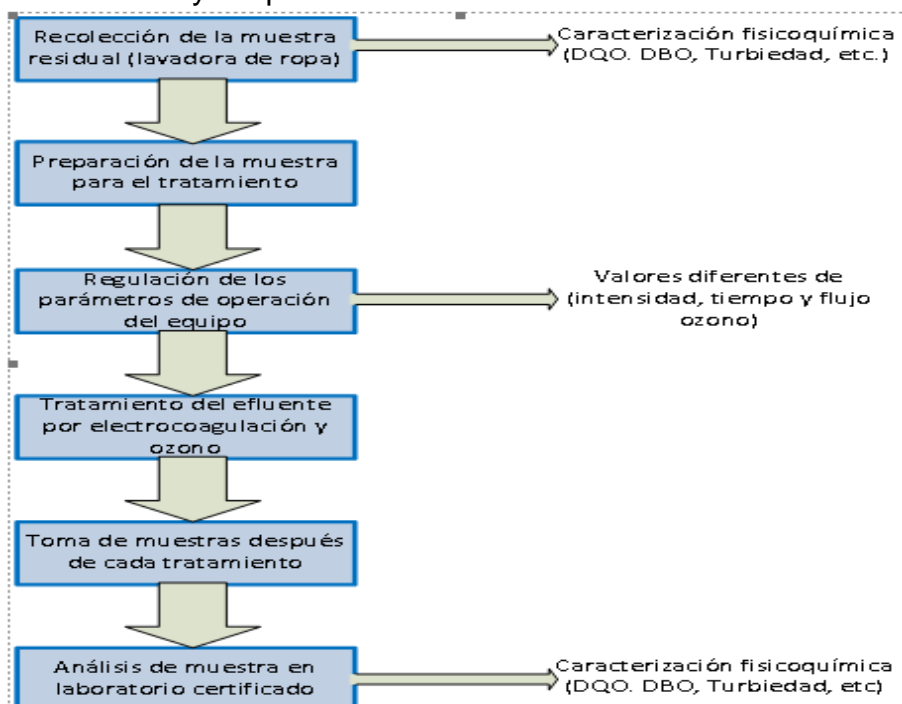


Figura 5: diagrama de flujo del experimento.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. RELATOS Y DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD OBSERVADA

En este capítulo se presenta los resultados experimentales del estudio de la influencia de los parámetros de operación (Intensidad de corriente, tiempo de tratamiento y flujo de ozono) del módulo acoplado de electrocoagulación y ozono respecto a la disminución de la turbiedad y otros parámetros.

Los resultados de los parámetros de operación se muestran en las siguientes tablas y figuras.

4.1.1. Los resultados se clasificaron en dos categorías:

Categoría 1.- Los porcentajes de remoción de los parámetros (turbiedad, sólidos suspendidos totales y Demanda Química de Oxígeno).

Categoría 2.- Equipo experimental, el equipo acoplado de electrocoagulación y ozono en los anexos se muestran la celda acoplado de electrocoagulación y ozono con sus respectivos componentes. Como las características del módulo acoplado de electrocoagulación: 8 electrodos de aluminio (ánodo y cátodo), Área efectiva de cada electrodo (ánodo) 119.03cm^2 . Volumen de trabajo del equipo 3 litros.

A continuación, en la tabla 8 muestra valores de los resultados que se obtuvo y analizaron de los 9 experimentos realizados según la Metodología de Taguchi con la comparación del valor inicial de los contaminantes y límites permisibles según PTAR.

Tabla 8 : Resumen del diseño de experimentos según metodología taguchi y sus respectivos resultados de los parámetros.

NUMERO DE EXPERIMEN TO	INTENSIDAD DE CORRIENTE (Amperios)	TIEMPO DE TRATAMIENTO (minutos)	FLUJO DE OZONO (g/h)	TURBIEDAD NTU	SST (mg/L)	DQO (mg/L)	%TURBIEDAD	%SST	%DQO
1	0.5	20	1	73.6	230	91	15.98	63.20	26.01
2	0.5	40	2	64	152	84	26.94	75.68	31.70
3	0.5	60	2.5	33.1	91	62	62.21	85.44	49.59
4	1.5	20	2	49.5	147	74	43.49	76.48	39.83
5	1.5	40	2.5	25.3	79	56	71.11	87.36	54.47
6	1.5	60	1	15.2	55	39	82.64	91.20	68.29
7	2.4	20	2.5	16.8	63	41	80.82	89.92	66.66
8	2.4	40	1	12.1	52	21	86.19	91.68	82.92
9	2.4	60	2	0.93	32	13	98.93	94.88	89.43
Resultados del efluente antes de ser tratado				87.6	625	123			
Límites máximos permisibles				-	150	100			

Fuente: Elaboración propia, Resultados mediante el software minitab.

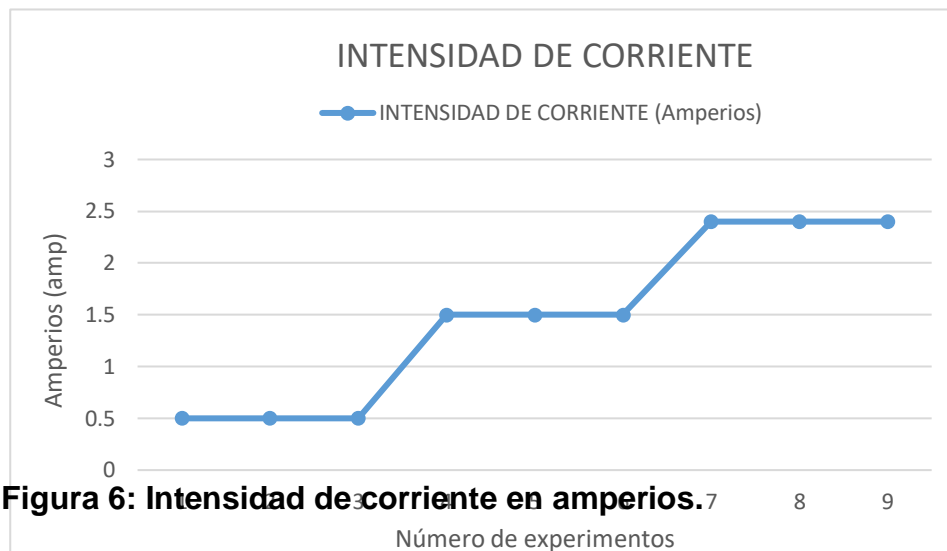


Figura 6: Intensidad de corriente en amperios.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Intensidad de 0.5 amperios

Para esta condición inicial de muestra, se corrieron tres experimentos, haciendo una combinación con los parámetros de tiempo y flujo de ozono.

Los resultados después del tratamiento de los parámetros fisicoquímicos y orgánicos se presentan en la tabla 9.

Tabla 9: Porcentaje de remoción de los parámetros fisicoquímicos y biológicos a intensidad de 0.5 amperios.

Intensidad (amperios)	Tiempo (minutos)	Flujo de ozono (mg/h)	Composición			Porcentaje de reducción (%)		
			Turbiedad	SST	DQO	Turbiedad	SST	DQO
0.5	20	1	73.6	230	91	15.98	63.2	26.01
0.5	40	2	64	152	84	26.94	75.68	31.7
0.5	60	2.5	33.1	91	62	62.21	85.44	49.59

Fuente: Elaboración propia.

De los datos anteriores se concluye que el experimento con intensidad 0.5 amperios, el que da buen resultado es con un tiempo de 60 minutos y con flujo de ozono de 2.5 mg/h, dando una reducción del 62.21 % de turbiedad, 85.44% en SST y 49.59 % en DQO.

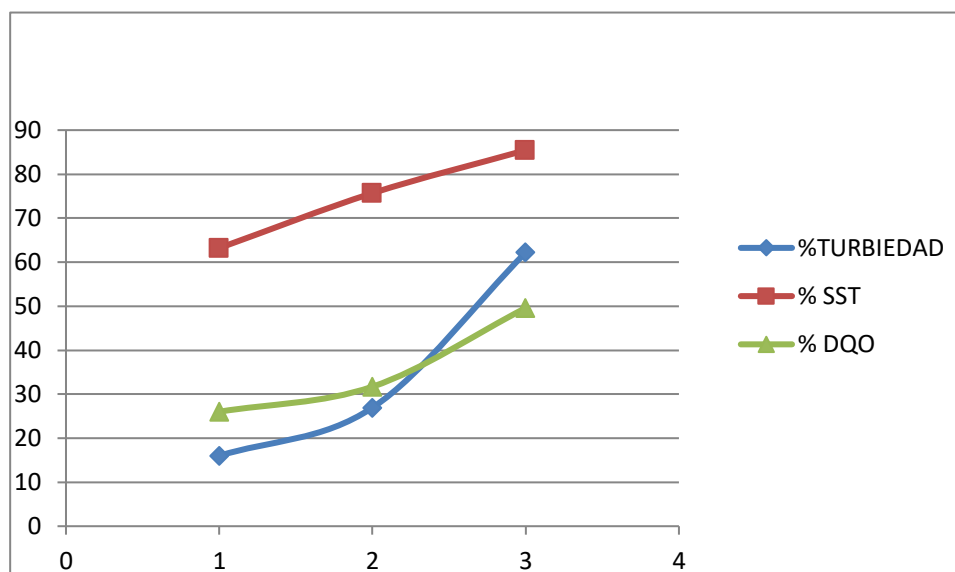


Figura 7: Porcentaje de turbiedad, SST y DQO a 0.5 amperios.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Intensidad de 1.5 amperios

Para esta condición inicial de muestra, se corrieron tres experimentos, haciendo una combinación con los parámetros de tiempo y flujo de ozono.

Los resultados después del tratamiento de los parámetros fisicoquímicos y orgánicos se puede apreciar en la tabla 10.

Tabla 10: Porcentaje de remoción de los parámetros fisicoquímicos y biológicos a intensidad de 1.5 amperios.

Intensidad (Amperios)	Tiempo (minutos)	Flujo de ozono (mg/h)	Composición			Porcentaje de reducción (%)		
			Turbiedad	SST	DQO	Turbiedad	SST	DQO
1.5	20	2	49.5	147	74	43.49	76.48	39.83
1.5	40	2.5	25.3	79	56	71.11	87.36	54.47
1.5	60	1	15.2	55	39	82.64	91.2	68.29

Fuente: Elaboración propia, 2019.

De los datos anteriores se concluye que el experimento con intensidad 1.5 amperios, el que da buen resultado es con tiempo de 60 minutos y con

flujo de ozono de 1 mg/h, dando una reducción del 82.64 % de turbiedad, 91.20% en SST y 68.29 % en DQO.

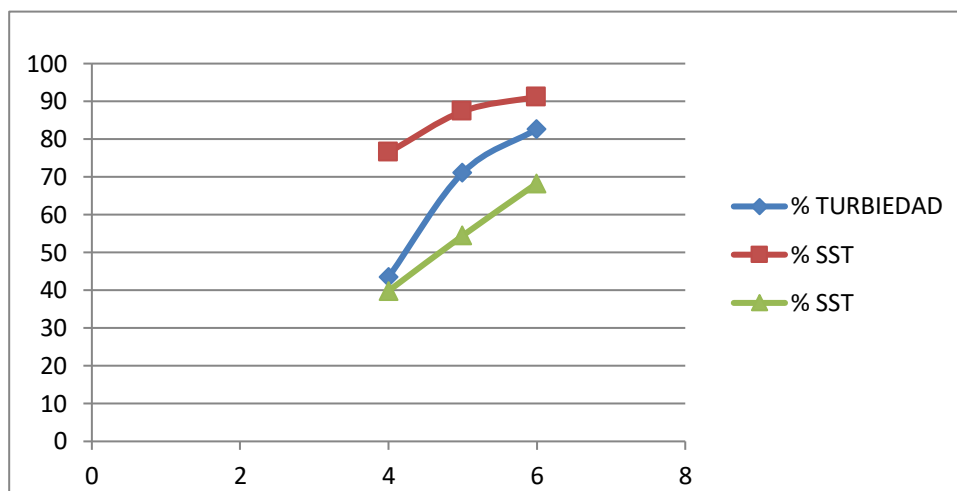


Figura 8: Porcentaje de remoción de turbiedad, SST y DQO a 1.5 amperios

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Intensidad de 2.4 amperios

Para esta condición inicial de muestra, se corrieron tres experimentos, haciendo una combinación con los parámetros de tiempo y flujo de ozono. Los resultados después del tratamiento de los parámetros fisicoquímicos y orgánicos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 11: Porcentaje de remoción de los parámetros fisicoquímicos y biológicos a intensidad de 2.4 amperio.

Intensidad (Amperios)	Tiempo (minutos)	Flujo de ozono (mg/h)	Composición			Porcentaje de reducción (%)		
			Turbiedad	SST	DQO	Turbiedad	SST	DQO
2.4	20	2.5	16.8	63	41	80.82	89.92	66.66
2.4	40	1	12.1	52	21	86.19	91.68	82.92
2.4	60	2	0.93	32	13	98.93	94.88	89.43

Fuente: Elaboración propia.

De los datos anteriores se concluye que el experimento con intensidad 2.4 amperios, el que da buen resultado es con tiempo de 60 minutos y con flujo de ozono de 2 mg/h, dando una reducción del 98.93 % de turbiedad, 94.88 % en SST y 89.43 % en DQO.

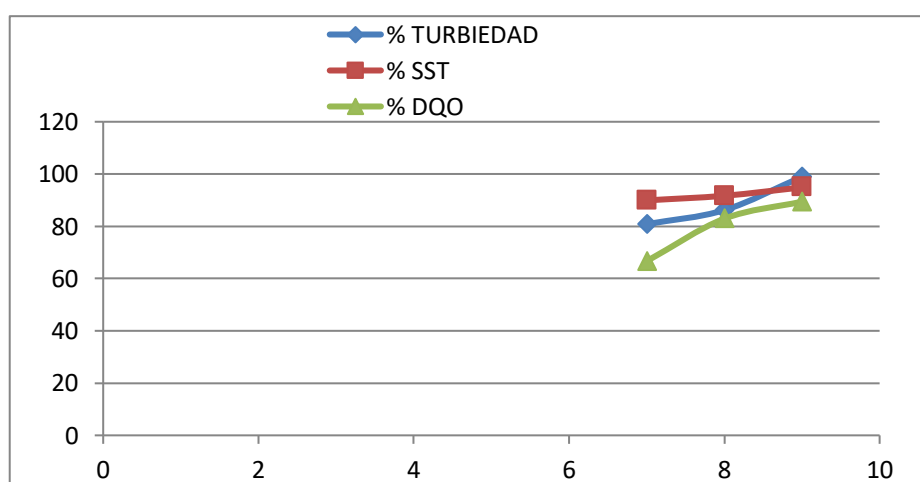


Figura 9: Porcentaje de remoción de turbiedad, SST y DQO a 2.4 amperios

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12: Descriptivos de las diferencias (post test – pre test) en la turbiedad, SST y DQO, organizados según los niveles de intensidad de la corriente.

						95% del intervalo de confianza para la media			
		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
DIF_TURBIEDAD	.50	3	30.7000	21.16294	12.21843	-21.8717	83.2717	14.00	54.50
	1.50	3	57.6000	17.62640	10.17661	13.8136	101.3864	38.10	72.40
	2.40	3	77.6567	8.15185	4.70647	57.4064	97.9070	70.80	86.67
	Total	9	55.3189	24.95204	8.31735	36.1391	74.4987	14.00	86.67
DIF_SST	.50	3	467.3333	69.67305	40.22575	294.2559	640.4108	395.00	534.00
	1.50	3	531.3333	47.72141	27.55197	412.7868	649.8799	478.00	570.00
	2.40	3	576.0000	15.71623	9.07377	536.9587	615.0413	562.00	593.00
	Total	9	524.8889	63.89140	21.29713	475.7776	574.0002	395.00	593.00
DIF_DQO	.50	3	44.0000	15.13275	8.73689	6.4082	81.5918	32.00	61.00
	1.50	3	66.6667	17.50238	10.10500	23.1883	110.1450	49.00	84.00
	2.40	3	98.0000	14.42221	8.32666	62.1733	133.8267	82.00	110.00
	Total	9	69.5556	27.15286	9.05095	48.6840	90.4271	32.00	110.00

Fuente: Datos recopilados a partir de los experimentos. Elaboración propia.

En la tabla se muestra que, para el caso de la turbiedad, mientras mayor intensidad de corriente se tiene, mayor es el promedio de la diferencia ocasionada, lo mismo se aprecia en el caso del SST y en el DQO. Se aprecia además que los errores estándar de la turbiedad y el SST decrecen al incrementarse la intensidad de corriente, no se aprecia lo mismo en el caso de DQO.

Tabla 13: Descriptivos de las diferencias (post test – pre test) en la turbiedad, SST y DQO, organizados según el tiempo de tratamiento.

						95% del intervalo de confianza para la media			
		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
DIF_TURBIEDAD	20.00	3	40.9667	28.50830	16.45928	-29.8519	111.7852	14.00	70.80
	40.00	3	53.8000	26.97388	15.57337	-13.2068	120.8068	23.60	75.50
	60.00	3	71.1900	16.11910	9.30637	31.1479	111.2321	54.50	86.67
	Total	9	55.3189	24.95204	8.31735	36.1391	74.4987	14.00	86.67
DIF_SST	20.00	3	478.3333	83.50050	48.20904	270.9066	685.7601	395.00	562.00
	40.00	3	530.6667	51.73329	29.86823	402.1540	659.1793	473.00	573.00
	60.00	3	565.6667	29.73774	17.16909	491.7940	639.5393	534.00	593.00
	Total	9	524.8889	63.89140	21.29713	475.7776	574.0002	395.00	593.00
DIF_DQO	20.00	3	54.3333	25.42309	14.67803	-8.8211	117.4878	32.00	82.00
	40.00	3	69.3333	31.56475	18.22392	-9.0778	147.7445	39.00	102.00
	60.00	3	85.0000	24.51530	14.15392	24.1006	145.8994	61.00	110.00
	Total	9	69.5556	27.15286	9.05095	48.6840	90.4271	32.00	110.00

Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos a partir de los experimentos).

En la tabla se muestra que, para el caso de la turbiedad, mientras mayor intensidad de corriente se tiene, mayor es el promedio de la diferencia ocasionada, lo mismo se aprecia en el caso del SST y en el DQO. Se aprecia además que los errores estándar de la turbiedad y el SST decrecen al incrementarse la intensidad de corriente, no se aprecia lo mismo en el caso de DQO.

Tabla 14: Descriptivos de las diferencias (post test – pre test) en la turbiedad, SST y DQO, organizados según el tiempo de tratamiento.

						95% del intervalo de confianza para la media			
	N	Media	Desviación estándar	Error estándar		Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
DIF_TURBIEDAD	20.00	3	40.9667	28.50830	16.45928	-29.8519	111.7852	14.00	70.80
	40.00	3	53.8000	26.97388	15.57337	-13.2068	120.8068	23.60	75.50
	60.00	3	71.1900	16.11910	9.30637	31.1479	111.2321	54.50	86.67
	Total	9	55.3189	24.95204	8.31735	36.1391	74.4987	14.00	86.67
DIF_SST	20.00	3	478.3333	83.50050	48.20904	270.9066	685.7601	395.00	562.00
	40.00	3	530.6667	51.73329	29.86823	402.1540	659.1793	473.00	573.00
	60.00	3	565.6667	29.73774	17.16909	491.7940	639.5393	534.00	593.00
	Total	9	524.8889	63.89140	21.29713	475.7776	574.0002	395.00	593.00
DIF_DQO	20.00	3	54.3333	25.42309	14.67803	-8.8211	117.4878	32.00	82.00
	40.00	3	69.3333	31.56475	18.22392	-9.0778	147.7445	39.00	102.00
	60.00	3	85.0000	24.51530	14.15392	24.1006	145.8994	61.00	110.00
	Total	9	69.5556	27.15286	9.05095	48.6840	90.4271	32.00	110.00

Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos a partir de los experimentos).

En la tabla se muestra que, para el caso de la turbiedad, mientras mayor tiempo de tratamiento se tiene, mayor es el promedio de la diferencia ocasionada, lo mismo se aprecia en el caso del SST y en el DQO. Se aprecia además que los errores estándar de la turbiedad y el SST decrecen al incrementarse el tiempo de tratamiento, no se aprecia lo mismo en el caso de DQO.

Tabla 15: Descriptivos de las diferencias (post test – pre test) en la turbiedad, SST y DQO, organizados según el flujo de ozono.

						95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
	N	Media	Desviación estándar	Error estándar		Límite inferior	Límite superior		
DIF_TURBIEDAD	1.00	3	53.9667	34.64684	20.00336	-32.1008	140.0342	14.00	75.50
	2.00	3	49.4567	33.03311	19.07168	-32.6021	131.5155	23.60	86.67
	2.50	3	62.5333	8.15250	4.70685	42.2814	82.7853	54.50	70.80
	Total	9	55.3189	24.95204	8.31735	36.1391	74.4987	14.00	86.67
DIF_SST	1.00	3	512.6667	101.91336	58.83971	259.4998	765.8335	395.00	573.00
	2.00	3	514.6667	67.88471	39.19325	346.0317	683.3016	473.00	593.00
	2.50	3	547.3333	14.04754	8.11035	512.4373	582.2294	534.00	562.00
	Total	9	524.8889	63.89140	21.29713	475.7776	574.0002	395.00	593.00
DIF_DQO	1.00	3	72.6667	36.35015	20.98677	-17.6321	162.9654	32.00	102.00
	2.00	3	66.0000	38.43176	22.18859	-29.4698	161.4698	39.00	110.00
	2.50	3	70.0000	10.81665	6.24500	43.1299	96.8701	61.00	82.00
	Total	9	69.5556	27.15286	9.05095	48.6840	90.4271	32.00	110.00

Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos a partir de los experimentos).

En la tabla se muestra que, para el caso del SST, mientras mayor flujo de ozono se tiene, mayor es el promedio de la diferencia ocasionada, no se aprecia lo mismo en la turbiedad ni en el DQO. Se aprecia además que los errores estándar de la turbiedad y el SST decrecen al incrementarse el flujo de ozono, no se aprecia lo mismo en el caso de DQO.

CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE LA HIPÓTESIS

En la presente investigación la contrastación de la hipótesis general y los específicos se comprobó, mediante la adecuada optimización de los parámetros operacionales en procesos híbridos de electrocoagulación y ozono en la remoción de la turbiedad, SST, DQO, en el efluente de aguas grises domiciliarias, algunos se encuentran dentro de las normas nacionales, como se demuestra en los siguientes cuadros siguientes:

Tabla 16: Análisis de varianza considerando la intensidad de corriente para evaluar si ocasionan diferencias en los promedios de los tres grupos de turbiedad, SST y DQO.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
DIF_TURBIEDAD	Entre grupos	3330.808	2	1665.404	6.056	0.036
	Dentro de grupos	1650.025	6	275.004		
	Total	4980.834	8			
DIF_SST	Entre grupos	17899.556	2	8949.778	3.639	0.092
	Dentro de grupos	14757.333	6	2459.556		
	Total	32656.889	8			
DIF_DQO	Entre grupos	4411.556	2	2205.778	8.902	0.016
	Dentro de grupos	1486.667	6	247.778		
	Total	5898.222	8			

Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos a partir de los experimentos).

Al analizar la intensidad de la corriente, encontramos p-valores significativos por lo que nos quedamos con la hipótesis H_1 en la turbiedad y en el DQO que indica que los grupos comparados son distintos, mas no podemos encontrar diferencias en el SST en la turbiedad y en el DQO.

Tabla 17: Análisis de varianza, considerando el tiempo de tratamiento para evaluar, si ocasionan diferencias en los promedios de los tres grupos de turbiedad, SST y DQO.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
DIF_TURBIEDAD	Entre grupos	1380.556	2	690.278	1.150	.378
	Dentro de grupos	3600.277	6	600.046		
	Total	4980.834	8			
DIF_SST	Entre grupos	11590.889	2	5795.444	1.651	.268
	Dentro de grupos	21066.000	6	3511.000		
	Total	32656.889	8			
DIF_DQO	Entre grupos	1410.889	2	705.444	.943	.440
	Dentro de grupos	4487.333	6	747.889		
	Total	5898.222	8			

Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos a partir de los experimentos).

Al analizar el tiempo de tratamiento, no encontramos p-valores significativos en la turbiedad, SST ni en el DQO, por lo que no podemos aceptar la hipótesis H_1 , teniendo que aceptar H_0 , que indica que los grupos comparados son iguales

Tabla 18: Análisis de varianza considerando el flujo de ozono, para evaluar si ocasionan diferencias en los promedios de los tres grupos de turbiedad, SST y DQO.

		Suma de cuadrados	GI	Media cuadrática	F	Sig.
DIF_TURBIEDAD	Entre grupos	264.727	2	132.364	.168	.849
	Dentro de grupos	4716.107	6	786.018		
	Total	4980.834	8			
DIF_SST	Entre grupos	2272.889	2	1136.444	.224	.805
	Dentro de grupos	30384.000	6	5064.000		
	Total	32656.889	8			
DIF_DQO	Entre grupos	67.556	2	33.778	.035	.966
	Dentro de grupos	5830.667	6	971.778		
	Total	5898.222	8			

Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos a partir de los experimentos).

Al analizar el flujo de ozono, no encontramos p-valores significativos en la turbiedad, SST ni en el DQO, por lo que no podemos aceptar la hipótesis H_1 , teniendo que aceptar H_0 , que indica que los grupos comparados son iguales.

Tabla 19: Prueba de efectos Inter sujetos considerando la intensidad de la corriente y el tiempo de tratamiento, para evaluar si ocasionan diferencias en los promedios de la turbiedad.

Variable dependiente: DIF_TURBIEDAD

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4711.365 ^a	4	1177.841	17.484	.008
Intersección	27541.615	1	27541.615	408.828	.000
IntCorr	3330.808	2	1665.404	24.721	.006
Tiempo	1380.556	2	690.278	10.247	.027
Error	269.469	4	67.367		
Total	32522.449	9			
Total corregido	4980.834	8			

a. R al cuadrado = .946 (R al cuadrado ajustada = .892)

Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos a partir de los experimentos).

Al analizar la turbiedad, el modelo es significativo, por lo que nos quedamos con H_1 , que indica que existen diferencias en los grupos debido a la participación de la Intensidad de la Corriente y el Tiempo de tratamiento.

Tabla 20: Prueba de efectos Inter sujetos considerando la intensidad de la corriente y el flujo de ozono, para evaluar si ocasionan diferencias en los promedios de la turbiedad.

Variable dependiente: DIF_TURBIEDAD

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	3595.536 ^a	4	898.884	2.595	.189
Intersección	27541.615	1	27541.615	79.525	.001
IntCorr	3330.808	2	1665.404	4.809	.086
FlujoOzono	264.727	2	132.364	.382	.705
Error	1385.298	4	346.325		
Total	32522.449	9			
Total corregido	4980.834	8			

a. R al cuadrado = .722 (R al cuadrado ajustada = .444)

Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos a partir de los experimentos).

Al analizar la turbiedad, el modelo no es significativo, por lo que no podemos aceptar H_1 , teniendo que aceptar H_0 , que indica que no existe diferencias en los grupos debido a la participación de la Intensidad de la Corriente y el flujo de ozono.

Tabla 21: Prueba de efectos Inter sujetos considerando el tiempo y el flujo de ozono, para evaluar si ocasionan diferencias en los promedios de la turbiedad.

Variable dependiente: DIF_TURBIEDAD

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1645.284 ^a	4	411.321	.493	.745
Intersección	27541.615	1	27541.615	33.028	.005
Tiempo	1380.556	2	690.278	.828	.500
FlujoOzono	264.727	2	132.364	.159	.858
Error	3335.550	4	833.888		
Total	32522.449	9			
Total corregido	4980.834	8			

a. R al cuadrado = .330 (R al cuadrado ajustada = -.339)

Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos a partir de los experimentos).

Al analizar la turbiedad, el modelo no es significativo, por lo que no podemos aceptar H_1 , teniendo que aceptar H_0 , que indica que no existe diferencias en los grupos debido a la participación del Tiempo de tratamiento y el flujo de ozono.

Tabla 22: Prueba de efectos Inter sujetos considerando la intensidad de la corriente y el tiempo de tratamiento, para evaluar si ocasionan diferencias en los promedios del SST.

Variable dependiente: DIF_SST

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	29490.444 ^a	4	7372.611	9.313	.026
Intersección	2479575.111	1	2479575.111	3132.315	.000
IntCorr	17899.556	2	8949.778	11.306	.023
Tiempo	11590.889	2	5795.444	7.321	.046
Error	3166.444	4	791.611		
Total	2512232.000	9			
Total corregido	32656.889	8			

a. R al cuadrado = .903 (R al cuadrado ajustada = .806)

Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos a partir de los experimentos).

Al analizar el SST, el modelo es significativo, por lo que nos quedamos con H_1 , que indica que existen diferencias en los grupos debido a la participación de la Intensidad de la Corriente y el Tiempo de tratamiento.

Tabla 23: Prueba de efectos Inter sujetos considerando la intensidad de la corriente y el flujo de ozono para evaluar si ocasionan diferencias en los promedios del SST.

Variable dependiente: DIF_SST

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	20172.444 ^a	4	5043.111	1.616	.327
Intersección	2479575.111	1	2479575.111	794.453	.000
IntCorr	17899.556	2	8949.778	2.867	.169
FlujoOzono	2272.889	2	1136.444	.364	.716
Error	12484.444	4	3121.111		
Total	2512232.000	9			
Total corregido	32656.889	8			

a. R al cuadrado = .618 (R al cuadrado ajustada = .235)

Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos a partir de los experimentos).

Al analizar el SST el modelo no es significativo, por lo que no podemos aceptar la H_1 , teniendo que aceptar la H_0 , donde indica, que no existen diferencias en los grupos, debido a la participación de la intensidad de la corriente y el flujo de ozono.

Tabla 24: Prueba de efectos Inter sujetos considerando el tiempo de tratamiento y el flujo de ozono para evaluar si ocasionan diferencias en los promedios del SST.

Variable dependiente: DIF_SST

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	13863.778 ^a	4	3465.944	.738	.612
Intersección	2479575.111	1	2479575.111	527.763	.000
Tiempo	11590.889	2	5795.444	1.234	.383
FlujoOzono	2272.889	2	1136.444	.242	.796
Error	18793.111	4	4698.278		
Total	2512232.000	9			
Total corregido	32656.889	8			

a. R al cuadrado = .425 (R al cuadrado ajustada = -.151)

Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos a partir de los experimentos).

Al analizar el SST el modelo no es significativo, por lo que no podemos aceptar la H_1 , y así, teniendo que aceptar la H_0 , la cual indica, que no existe diferencias en los grupos debido a la participación del tiempo de tratamiento y el flujo de ozono.

Tabla 25: Prueba de efectos Inter sujetos considerando la intensidad de la corriente y el tiempo de tratamiento para evaluar si ocasionan diferencias en los promedios del DQO.

Variable dependiente: DIF_DQO

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	5822.444 ^a	4	1455.611	76.836	.000
Intersección	43541.778	1	43541.778	2298.393	.000
IntCorr	4411.556	2	2205.778	116.434	.000
Tiempo	1410.889	2	705.444	37.238	.003
Error	75.778	4	18.944		
Total	49440.000	9			
Total corregido	5898.222	8			

a. R al cuadrado = .987 (R al cuadrado ajustada =0.974)

Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos a partir de los experimentos).

Al analizar el DQO, el modelo es significativo, por lo que nos quedamos con la H1, que indica la existencia de diferencias en los grupos, debido a la participación de la Intensidad de la Corriente y el Tiempo de tratamiento.

Tabla 26: Prueba de efectos Inter sujetos considerando la intensidad de la corriente y el flujo de ozono para evaluar si ocasionan diferencias en los promedios del DQO.

Variable dependiente: DIF_DQO

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4479.111 ^a	4	1119.778	3.156	.146
Intersección	43541.778	1	43541.778	122.730	.000
IntCorr	4411.556	2	2205.778	6.217	.059
FlujoOzono	67.556	2	33.778	.095	.911
Error	1419.111	4	354.778		
Total	49440.000	9			
Total corregido	5898.222	8			

a. R al cuadrado = .759 (R al cuadrado ajustada = .519)

Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos a partir de los experimentos).

Al analizar el DQO el modelo no es significativo, por lo que no podemos aceptar la H_1 , y aceptando la H_0 , donde indica, que no existe diferencias en los grupos, debido a la participación de intensidad de la corriente y el flujo de ozono.

Tabla 27: Prueba de efectos Inter sujetos considerando el tiempo de tratamiento y el flujo de ozono para evaluar si ocasionan diferencias en los promedios del DQO.

Variable dependiente: DIF_DQO

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1478.444 ^a	4	369.611	.335	.843
Intersección	43541.778	1	43541.778	39.406	.003
Tiempo	1410.889	2	705.444	.638	.575
FlujoOzono	67.556	2	33.778	.031	.970
Error	4419.778	4	1104.944		
Total	49440.000	9			
Total corregido	5898.222	8			

a. R al cuadrado = .251 (R al cuadrado ajustada = -.499)

Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos a partir de los experimentos).

Al analizar el DQO el modelo no es significativo, por lo que no descartamos la H_1 , y así teniendo que aceptar la H_0 , donde indica, que no existen diferencias en los grupos debido a la participación del tiempo de tratamiento y el flujo de ozono.

Tabla 28: Prueba de efectos Inter sujetos considerando la intensidad de la corriente, tiempo de tratamiento y el flujo de ozono para evaluar si ocasionan diferencias en los promedios de la Turbiedad.

Variable dependiente: DIF_TURBIEDAD

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4976.092 ^a	6	829.349	349.807	.003
Intersección	27541.615	1	27541.615	11616.632	.000
IntCorr	3330.808	2	1665.404	702.442	.001
Tiempo	1380.556	2	690.278	291.149	.003
FlujoOzono	264.727	2	132.364	55.829	.018
Error	4.742	2	2.371		
Total	32522.449	9			
Total corregido	4980.834	8			

a. R al cuadrado = .999 (R al cuadrado ajustada = .996)

Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos a partir de los experimentos).

Al analizar la turbiedad, encontramos un p-valor significativo, nos quedamos con la hipótesis H_1 que indica que los grupos comparados son distintos, con la participación de la intensidad de la corriente, el tiempo de tratamiento y el flujo de ozono.

Tabla 29: Prueba de efectos Inter sujetos considerando la intensidad de la corriente, tiempo de tratamiento y el flujo de ozono para evaluar si ocasionan diferencias en los promedios del SST.

Variable dependiente: DIF_SST

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	31763.333 ^a	6	5293.889	11.849	.080
Intersección	2479575.111	1	2479575.111	5549.907	.000
IntCorr	17899.556	2	8949.778	20.032	.048
Tiempo	11590.889	2	5795.444	12.972	.072
FlujoOzono	2272.889	2	1136.444	2.544	.282
Error	893.556	2	446.778		
Total	2512232.000	9			
Total corregido	32656.889	8			

a. R al cuadrado = .973 (R al cuadrado ajustada = .891)

Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos a partir de los experimentos).

Al analizar el SST, no encontramos un p-valor significativo, por lo que nos quedamos con la hipótesis H_0 que indica que los grupos comparados no son distintos, es decir son iguales.

Tabla 30: Prueba de efectos Inter sujetos considerando la intensidad de la corriente, tiempo de tratamiento y el flujo de ozono para evaluar si ocasionan diferencias en los promedios del DQO.

Variable dependiente: DIF_DQO

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	5890.000 ^a	6	981.667	238.784	.004
Intersección	43541.778	1	43541.778	10591.243	.000
IntCorr	4411.556	2	2205.778	536.541	.002
Tiempo	1410.889	2	705.444	171.595	.006
FlujoOzono	67.556	2	33.778	8.216	.109
Error	8.222	2	4.111		
Total	49440.000	9			
Total corregido	5898.222	8			

a. R al cuadrado = .999 (R al cuadrado ajustada = .994)

Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos a partir de los experimentos).

Al analizar el DQO, encontramos un p-valor significativo, nos quedamos con la hipótesis H_1 que indica que los grupos comparados son distintos, con la participación de la intensidad de la corriente, el tiempo de tratamiento, aun cuando la participación del flujo de ozono no fue significativa.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. RESPECTO A LA REDUCCIÓN DE LOS PARÁMETROS.

Como se aprecia en los resultados del presente trabajo al haber mayor intensidad de corriente, produce mayor remoción en la turbiedad, el SST y en el DQO, ocasionando que los errores de estándar de la turbiedad y el SST disminuya al incrementarse la intensidad de corriente, siendo diferente en el caso al DQO. Esto refuerza lo investigado por Gelavizh Barzegara, Junxue Wub y Farshid Ghanbaric (2018), en el trabajo de investigación "*Enhanced treatment of greywater using electrocoagulation/ozonation: Investigation of: process parameters*", con el objetivo de mejorar el efluente de aguas grises con el tratamiento de electrocoagulación / ozonización; con la finalidad de encontrar los mayores beneficios de los efectos de los variables de operación. Los resultados de mayor eficiencia fueron a pH = 7, intensidad de corriente a 15 mA/cm², caudal de ozono a 47.4 mg/L y en un tiempo de 60 minutos, logrando llegar a una eficiencia de eliminación de 85% de DQO, y 70% de Carbono Orgánico Total (TOC), así mismo. y respecto a la hibridación que resultó de mayor eficiencia ha sido con el electrodo de hierro, mientras ese efecto no se vio con el aluminio. (Barzegara et al., 2018).

Respecto a la combinación de métodos y tecnología se logró optimizar aún más según el estudio de diversos parámetros como lo dijo P. Asaithambi, Abdul Raman Abdul Aziz y Wan Mohd Wan Ashri Bin Daud (2016), en su trabajo de investigación "*Integrated ozone - electrocoagulation process for the removal of pollutant from industrial effluent: Optimization through response surface methodology*", optimizando la respuesta mediante el uso de una metodología de superficie de respuesta.

Los resultados evidenciaron que hay mayor eficiencia en remover la carga contaminante en un proceso híbrido que electrocoagulación solo. Se utilizó la metodología de superficie de respuesta basado en el diseño compuesto, donde los efluentes de destilería fueron tratados por el proceso de electrocoagulación asistida ozono ozonización y electrocoagulación. Se

realizó una comparación entre estos procesos en términos de porcentaje de color y el traslado de la DQO. Pero a diferencia de este trabajo el presente fue objetivo y no basándose en lo empírico y respecto al DQO se redujo en el mejor de las corridas al 82.92 % respecto al trabajo de P. Asaithambi, el proceso de electrocoagulación híbrido produjo 100% de eliminación de color y eliminación de la DQO 95%. Basándose en los resultados experimentales, una relación empírica entre la respuesta y las variables independientes. (Asaithambi et al., 2016).

Respecto al enfoque cuantitativo es aplicativo y de tipo experimental como también el de García (2016), en su tesis de *“Tratamiento sinérgico electroquímico–ozono de residuos de laboratorio que contienen fenolftaleína”* para optar el grado de maestro en ciencias ambientales de la Universidad de Autónoma del estado de México con el objetivo de evaluar el proceso de tratamiento electroquímico-ozono en la oxidación de un agua residual que contiene residuos.

Y respecto a los resultados que obtuvo García obtuvo con una eficiencia de 32% del acoplamiento de los dos métodos para la reducción de COT, mientras con el método electroquímico se obtuvo 21% de eficiencia para la remoción de COT y con el ozono se obtuvo 10% de COT, todo con un tiempo de 60 min. Concluyendo el método con mejor rendimiento fue el de acoplamiento de ambos. Para la mineralización completa se necesitaron un total de 120 min para la DQO, respecto al presente trabajo para DBO, suficiente 60 min. Con una intensidad de 2.4 nos resultó 89.43 % de reducción.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.2. CONCLUSIONES

En los ensayos que se realizaron con las intensidades de 0.5, 1.5 y 2.4 amperios, el de 2.4 fue el que influencio a comparación de 0.5 que redujo el 62.21 % de turbiedad, 85.44% en SST y 49.59 % en DQO, y el de 1.5 amperios que redujo el 82.64 % de turbiedad, 91.20% en SST y 68.29 % en DQO, cumpliendo con la normativa establecida. Y para comprobar esto se comprobó que, al haber mayor intensidad de corriente, produce mayor remoción en la turbiedad, el SST y en el DQO, ocasionando que los errores de estándar de la turbiedad y el SST disminuya al incrementarse la intensidad de corriente, siendo diferente en el caso al DQO.

Mientras mayor flujo de ozono se tiene en los SST, mayor es el promedio es la influencia que produce, a comparación de la turbiedad y del DQO, ocasionando que los errores estándar de la turbiedad y el SST disminuya al incrementarse el flujo de ozono, caso contrario al DQO.

En la intensidad de la corriente se encontró el p-valor significativo por lo que aceptamos la hipótesis H_1 en la turbiedad y en el DQO a diferencia del flujo de ozono que no se encontró un p-valor significativo en la turbiedad ni en SST.

El SST, fue un modelo significativo, por lo que aceptamos la hipótesis H_1 , que indica que existen diferencias en los grupos debido a la participación de la Intensidad de la Corriente y el Tiempo de tratamiento, al igual que el DQO.

La investigación realizada demostró que la coagulación electroquímica es una técnica muy eficiente para emplearse para el tratamiento del agua producida por SAGD, ya que se usa ocho variables de diseño, así como materiales, configuración de electrodos, concentración de coagulante químico, solución de pH y temperatura, corriente eléctrica aplicada, mezcla frecuente y tiempo de tratamiento.

Se determinó los parámetros antes de ser tratados respecto a la turbiedad 87.6 NTU, en SST 625 mg/L y DQO 123 mg/L.

Se seleccionó los parámetros que tienen más relevancia los cuales son turbiedad, SST y DQO.

Se evaluó los parámetros físicos químicos del efluente a ser tratado como turbiedad, SST y DQO, se logró conocer los parámetros y efectivamente demostró que la coagulación electroquímica posee parámetros de diseño como la concentración del coagulante químico; en su tiempo de tratamiento la contribución fue significativamente mayor a mayor intensidad de corriente, respectivamente hacia la eficiencia de eliminación de los parámetros mencionados, demostrando la alta capacidad de la coagulación química a integrar con electricidad técnica de coagulación y ozonización para eliminar la materia suspendida y disuelta del agua contaminada.

5.3. RECOMENDACIONES

En la utilización de los electrodos se debe tener en cuenta la distancia entre uno y otro.

Los electrodos están siempre en continuo desgaste y por tal motivo se debe reponer.

Los lodos están compuestos de altas concentraciones de los electrodos que se está utilizaron en el experimento.

Se formaron un compuesto de óxidos en el electrodo del ánodo; en muchos casos, formar una capa que impide el paso de la corriente eléctrica, disminuyendo de esta forma la eficiencia del proceso.

Controlar el flujo del ozono para dosificar de acuerdo a la cantidad de agua procesar.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Jefferson, B., Jeffrey, P., Stephenson, T., Memon, F. A., & Pidou, M. (2001). Greywater recycling: A review of treatment options and applications. *proceedings. Engineering Sustainability. vol. 160*, 119-131.
- Lavorante, M. J., Álvarez, H., Chantrill, C., & Fasoli, H. (2011). Aplicaciones Ambientales de la Electrocoagulación a Escala de Planta Piloto. *Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Textiles. Ciencia, Vol. 6, Nº 21*, 39-47.
- Akiol, A. (2012). Treatment of paint manufacturing wastewater by electrocoagulation. *Desalination* 285, 91-99.
- APHA – AWWA - WEF (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd edition. (2012).
- Arango-Ruiz, Á. (2014). Tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación: desarrollo y potencial de aplicación. *Journal of Engineering and Technology*.
- Arroyo Núñez, M. G. (2011). Tratamiento de Disoluciones que Contienen Cromo Hexavalente Mediante Electrocoagulación con ánodos de hierro. *Valencia: Universitat Politecnica de Valencia*.
- Aziz, A. A., Asaithambi, P., & Daud, W. (2016). Combination of electrocoagulation with advanced oxidation processes for the treatment of distillery industrial effluent. *Process Saf. Environ. Prot.* 99, 227-235.
- Barrera. (2014). Aplicaciones Electroquímicas al Tratamiento de Aguas Residuales. *MÉXICO: REVERTÉ*.
- Clemente, J. P. (2008). APLICACIÓN DE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA (FOTOCATÁLISIS SOLAR) PARA TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE EFLUENTES TEXTILES. *DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA TEXTIL Y PAPELERA*, 198.
- De Gisi, S., Casella, P., & Notarnicola, M. (2017). Grey Water. *Encyclopedia of Sustainable Technologies, Volume 4*, 77-89.
- De Gisi, S., Casella, P., Notarnicola, M., & Farina, R. (2015). Grey water in buildings: A mini-review of guidelines. *technologies and case studies. Civil Engineering and Environmental Systems* 33 (1), 35–54.

- García Orozco, V. M. (2016). *Tratamiento sinérgico electroquímico-ozono de residuos de laboratorio que contienen fenoltaleína*. México.
- Gelavizh Barzegar, Junxue Wu, & Farshid Ghanbari. (2018). Enhanced treatment of greywater using electrocoagulation/ozonation: Investigation of process parameters. *Process Safety and Environment Protection*, 1-30.
- Ghanbari, F., Moradi, M., Eslami, A., & Emamjomeh, M. (2014). Electrocoagulation/Flotation of Textile Wastewater with Simultaneous Application of Aluminum and Iron as Anode. *Environ.Proc.* 1, 447-457.
- Ghasem Azarian, Ali Reza Rahmani, Mahmoud Masoudi khoram, Zeinab Atashzaban, & Davood Nematollahi. (2018). New batch electro-coagulation process for treatment and recovery of high organic load and low volume egg processing industry wastewater. *Process Safety and Environment Protection*, 1-35.
- Gholamreza Moussavi, M. M. (2018). Enhanced treatment of tannery wastewater using the electrocoagulation process combined with UVC/VUV photoreactor: Parametric and mechanistic evaluation. *Chemical Engineering Journal*, 1-31.
- Gregory, J., & Duan, J. (2001). hidrolizando sales de metales como coagulantes. *Pure Appl. Chem* 73, 2017-2026.
- Hernandez, 2016. (s.f.).
- Janet Yip Cheng Leong, Meng Nan Chong, & Phaik Eong Poh. (2018). Assessment of greywater quality and performance of a pilot-scale decentralised hybrid rainwater-greywater system. *Journal of Cleaner Production*, 81-91.
- Leong, Y. C., Oh, K. S., Poh, P. E., & Chong, M. N. (2017). Prospects of hybrid rainwater-greywater decentralised system for water recycling and reuse. *A review. J. Cleaner Prod.* 142, 3014-3027.
- Matilainen, A., Vepsäläinen, M., & Sillanpää, A. (2010). Natural remoción de materia orgánica por coagulación durante el tratamiento de agua potable. *Una revisión, Adv.Colloid. Interfac* 159, 189-197.
- Miklos, D. B., Remy, C., Jekel, M., Linden, K. G., Drewes, J. E., & Hübner, U. (2018). Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment—A critical review. *Water Res.* 139, 118-131.

- Morel, A., & Diener, S. (2006). Greywater Management in Low and Middle-Income Countries. *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries*.
- Nielson, K., & Smith, D. W. (2005). Ozone-enhanced electroflocculation in municipal wastewater treatment. *J. Environ. Eng. Sci.* 4, 65-76.
- P. Asaithambi, Abdul Raman Abdul Aziz, & Wan Mohd Ashri Bin Wan Daud. (2016). Integrated ozone - electrocoagulation process for the removal of pollutant from industrial effluent: Optimization through response surface methodology. *Chemical Engineering and Processing*, 1-46.
- Piña-Soberanis, M., Martín-Domínguez, A., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Guevara-Lara, A., & García-Espinoza, J. E. (2011). Revisión de variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación. *Rev. Mex. Ing. Quím vol.10 no.2*.
- Schoen, M. E., & Garland, J. (2017). Review of pathogen treatment reductions for onsite non-potable reuse of alternative source waters. *Microb. Risk Anal.* 5, 25-31.
- Sergi Garcia-Segura, Maria Maesia S.G. Eiband, Jailson Vieira de Melo, & Martínez-Huitle, C. A. (2017). Electrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: A general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 1-130.
- Serrano Santa María, A. M. (2017). *Influencia de la densidad de corriente y la distancia entre electrodos en la remoción del color y demanda química de oxígeno de efluentes de recurtido usando la electrocoagulación-ozono*. Trujillo-Peru.
- Song, S., Yao, J., He, Z., Qiu, J., & Chen, J. (2008). Effect of operational parameters on the decolorization of CI Reactive Blue 19 in aqueous solution by ozone-enhanced electrocoagulation. *J. Hazard. Mater.* 152, 204-210.

ANEXOS



UDH
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
<http://www.udh.edu.pe>

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO Escuela de Posgrado

RESOLUCIÓN N° 062-2019-D-EPG-UDH
Huánuco, 28 de Febrero de 2019

Visto, el Oficio N° 010-2019-UPGI-UDH, de fecha 27 de Febrero de 2019, presentado por el Jefe de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Dr. Alcides Bernardo Tello, quien solicita Designación de Asesor a petición del graduando **SALAS VIZCARRA, Cristian Joel**; de la Maestría en Ingeniería con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible.

CONSIDERANDO:

Que, el recurrente viene desarrollando su proyecto de tesis para lo cual solicita la designación de asesor de tesis;

Que, el recurrente solicita la designación de asesor, proponiendo a la Mg. Bertha Lucila Campos Ríos como asesora de tesis, en concordancia con el Art. 22º del Reglamento General de Grados de Maestría y Doctorado;

Que, adjunta para su trámite la Boleta Electrónica B009-00012996 de fecha 26/02/2019, por asesoría de tesis y derecho de trámite; y,

Estando a las atribuciones conferidas a cargo del Director de la Escuela de Posgrado de la Universidad de Huánuco, con cargo a dar cuenta al Consejo Directivo.

SE RESUELVE:

Artículo Único.- Designar a la Mg. Bertha Lucila CAMPOS RÍOS, como Asesora de Tesis del graduando **SALAS VIZCARRA, Cristian Joel**; de la Maestría en Ingeniería con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible, en la Escuela de Posgrado de la Universidad de Huánuco.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dr. Venancio Víctor Domínguez Condezo
DIRECTOR EPG



Mg. Maximiliano Cruz Huacachino
SECRETARIO DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Escuela de Posgrado

RESOLUCIÓN N° 351-2019-D-EPG-UDH
Huánuco, 08 de Julio de 2019

Visto, el Oficio N° 084-2019-D-UPG-DCCPP-UDH, de fecha 05 de Julio de 2019, presentado por el Jefe de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Dr. Alcides Bernardo Tello, quien solicita aprobación de proyecto de investigación a petición del graduando **SALAS VIZCARRA, Joel Cristian**, de la Maestría en Ingeniería con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible.

CONSIDERANDO:

Que, el recurrente desarrolló su Proyecto de Investigación titulado: **"OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES EN PROCESOS HÍBRIDOS DE ELECTROCOAGULACIÓN Y OZONO EN LA REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD EN EFLUENTES PROVENIENTES DE AGUAS GRISES, EN LA PROVINCIA DE HUÁNUCO - 2019"**, para la revisión correspondiente;

Que, con Informe N° 02-2019-BLCR-DO-FI-UDH, de fecha 07/02/2019, la Mg. Bertha Lucila Campos Ríos en calidad de Asesora de tesis, aprueba el Proyecto de Investigación presentado por el recurrente;

Que, con Informe N° 09-DIB-UDH-2019, de fecha 04/07/2019, Informe N° 060-2019-UDH/JJR, de fecha 04/07/2019, e Informe N° 007-2019-FECLL-UDH, de fecha 04/07/2019; presentados por los miembros del jurado revisor Mg. Herman Tarazona Mirabal, Mg. Johnny Prudencio Jacha Rojas y Mg. Frank Erick Cámara Llanos respectivamente; opinan favorablemente para la aprobación del Proyecto de Investigación, con la inscripción correspondiente; y,

Estando a las atribuciones conferidas a cargo del Director de la Escuela de Posgrado de la Universidad de Huánuco, con cargo a dar cuenta al Consejo Directivo,

SE RESUELVE:

Artículo Único.- Aprobar, el Proyecto de Investigación titulado "OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES EN PROCESOS HÍBRIDOS DE ELECTROCOAGULACIÓN Y OZONO EN LA REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD EN EFLUENTES PROVENIENTES DE AGUAS GRISES, EN LA PROVINCIA DE HUÁNUCO - 2019", del graduando SALAS VIZCARRA, Joel Cristian, para optar el Grado Académico de Maestro en Ingeniería con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible, en la Escuela de Posgrado de la Universidad de Huánuco, debiendo inscribirse en el libro de Proyectos de Investigación correspondiente.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dr. Venancio Víctor Domínguez Condezo
DIRECTOR EPG



M. Maximiliano Cruz Huacachino
SECRETARIO DOCENTE

Distribución: Rectorado/Vicerrectorado/UPGI/OMR/Interesado/File Personal/Archivo.
VDC/bldr

Tabla 31: Matriz de consistencia.

Título: OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES EN PROCESOS HÍBRIDOS DE ELECTROCOAGULACIÓN Y OZONO EN LA REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD EN EFLUENTES PROVENIENTES DE AGUAS GRISES, EN LA PROVINCIA DE HUÁNUCO – 2019.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS
<p>Problema general</p> <p>¿En qué medida la optimización de los parámetros operacionales en procesos híbridos de electrocoagulación y ozono influyen en la remoción de la turbiedad en el tratamiento de las aguas grises, en la Provincia de Huánuco - 2019?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>¿Cuáles serán los parámetros fx, qx y bx de las aguas grises como efluente de entrada al reactor de electrocoagulación- ozono para su tratamiento?</p> <p>¿Cuáles serán los factores y niveles de operación para el proceso híbrido de electrocoagulación y ozono en el tratamiento de aguas grises?</p> <p>¿Cuál será la característica físico, química y biológica del efluente tratado a la salida del proceso híbrido de electrocoagulación y ozono?.</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Evaluar la optimización de los parámetros operacionales en el proceso híbrido de electrocoagulación y ozono en la remoción de la turbiedad en efluentes provenientes de aguas grises, en la Provincia de Huánuco - 2019.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>Determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos del efluente a tratar.</p> <p>Seleccionar los parámetros de operación en el tratamiento híbrido de electrocoagulación y ozono.</p> <p>Evaluar los parámetros físicos, químicos y biológicos del efluente tratado a la salida del proceso de electrocoagulación y ozono.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>Hi: Mediante la adecuada optimización de los parámetros operacionales en procesos híbridos de electrocoagulación y ozono en la remoción de la turbiedad en el efluente de aguas grises, obtendremos un efluente que se encuentre dentro de las normas nacionales.</p> <p>Ho: Mediante la adecuada optimización de los parámetros operacionales en procesos híbridos de electrocoagulación y ozono en la remoción de la turbiedad en el efluente de aguas grises, no obtendremos un efluente que se encuentre dentro de las normas nacionales.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>Hi1: Al caracterizar los parámetros físicos, químicos y biológicos del efluente (aguas grises), procedentes de las lavadoras domésticas se espera conocer la composición de los contaminantes.</p> <p>Ho1: Al caracterizar los parámetros físicos, químicos y biológicos del efluente (aguas grises), procedentes de las lavadoras domésticas no se espera conocer la composición de los contaminantes.</p> <p>Hi2: Al seleccionar de manera correcta los parámetros de operación (tiempo de tratamiento, concentración, caudal, densidad de corriente) se</p>

VARIABLES E INDICADORES

X=Variable independiente

Densidad de corriente: X1

Tiempo de tratamiento: X2

Flujo de entrada
ozono : X3

Y = Variable dependiente

Turbiedad : Y1

Rendimiento : Y2

Indicadores

Porcentaje (%)

Flux volumétrico de ozono

Amp/cm2

Min.

Ppm

OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTE

Densidad de corriente

Corriente que ingresa al reactor electroquímico, la lectura se hace con un multímetro.

Tiempo

Es el tiempo que transcurre en el tratamiento del efluente, se controla con un cronómetro.

Flujo

Es la carga másica del ozono que ingresa al reactor, tiene una medida directa con el regulador de carga del equipo.

lograr alcanzar niveles altos de porcentaje de eliminación de contaminantes.

Ho2: Al seleccionar de manera correcta los parámetros de operación (tiempo de tratamiento, concentración, caudal, densidad de corriente) no se logrará alcanzar niveles altos de porcentaje de eliminación de contaminantes.

Hi3: Al caracterizar los parámetros físicos, químicos y biológicos del efluente tratado a la salida del proceso de electrocoagulación y ozonificación se logrará conocer la composición de los contaminantes.

Ho3: Al caracterizar los parámetros físicos, químicos y biológicos del efluente tratado a la salida del proceso de electrocoagulación y ozonificación no se logrará conocer la composición de los contaminantes.

Fuente: Elaboración propia.

**IEA**INSTITUTO DE EDUCACIÓN
AMBIENTALSERVICIOS Y SUMINISTROS PARA LABORATORIO
LABORATORIO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA CON
REGISTRO N° LC - 018INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Calibración
Acreditado

Registro N° LC - 018

INFORME DE ENSAYO N° 19020

CLIENTE:	PAUL ALCOCER MENESES
MATRIZ:	AGUA RESIDUAL DOMESTICA
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:	AGUA RESIDUAL DE LAVADORA DE ROPAS
MUESTREO POR:	CLIENTE
CANTIDAD DE MUESTRA:	30
FECHA INICIO DE LA TOMA DE LA MUESTRA:	16/09/19
ESTACIÓN DE LA TOMA DE MUESTRA:	L-01
ESTACIÓN DE LA TOMA DE MUESTRA:	L-02
FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:	18/09/19
FECHA DE INICIO DE LOS ENSAYOS:	19/09/19
FECHA DE FIN DE LOS ENSAYOS:	20/09/19
FECHA DE EMISIONES DE INFORMES:	21/09/19

JEFE DE LABORATORIO



Alexander Alza Zamudio



IEA
INSTITUTO DE EDUCACIÓN
AMBIENTAL



SERVICIOS Y SUMINISTROS PARA LABORATORIO
LABORATORIO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA CON
REGISTRO N° LC - 018



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Calibración
Acreditado

Registro N° LC - 018

INFORME DE ENSAYO N° 19020

CÓDIGO DE LABORATORIO			19020-1									
IDENTIFICACIÓN			L-01									
FECHA Y HORA DE MUESTREO			16/09/19 10:32 hrs									
PARÁMETRO	LCM	UNIDAD	RESULTADO									
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS												
Turbiedad	1.2	NTU	87.6									
Sólidos suspendidos totales	1.2	mg/L	625									
Demanda química de oxígeno	1.2	mg/L	123									
IDENTIFICACIÓN			L-02									
PARÁMETRO	LCM	UNIDAD	RESULTADO									
			01	02	03	04	05	06	07	08	09	
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS												
Turbiedad	1.2	NTU	73.6	84	33.1	49.5	25.3	15.2	16.8	12.1	0.93	
Sólidos suspendidos totales	1.2	mg/L	230	152	91	147	79	55	63	52	32	
Demanda química de oxígeno	1.2	mg/L	91	84	62	74	56	39	41	21	13	

"L.C.M.": Límite de Cuantificación del Método

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

JEFE DE LABORATORIO



Alexander Alza Zamudio

Alexander Alza Zamudio



IEA
INSTITUTO DE EDUCACIÓN
AMBIENTAL



SERVICIOS Y SUMINISTROS PARA LABORATORIO
LABORATORIO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA CON
REGISTRO N° LC - 018



Registro 01 LC - 018

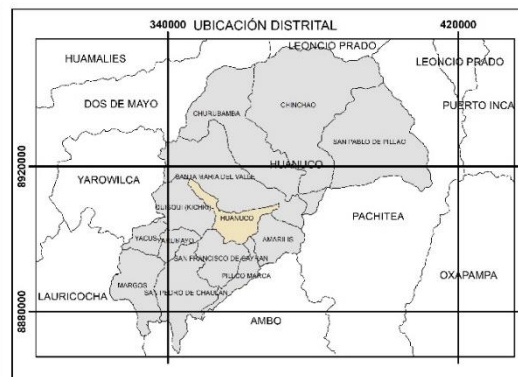
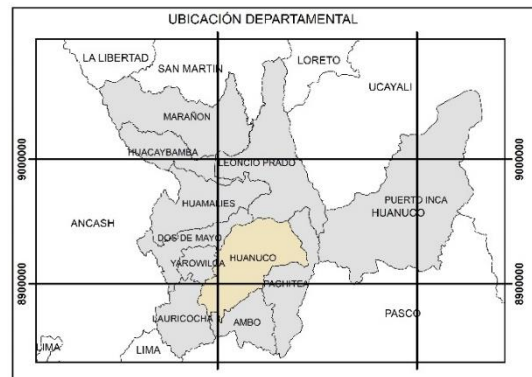
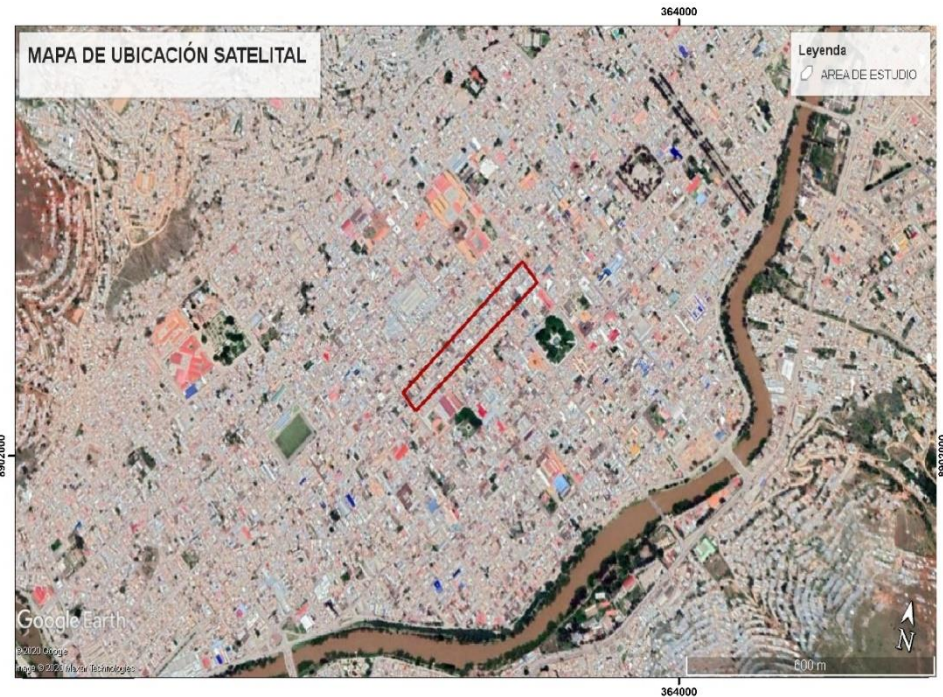
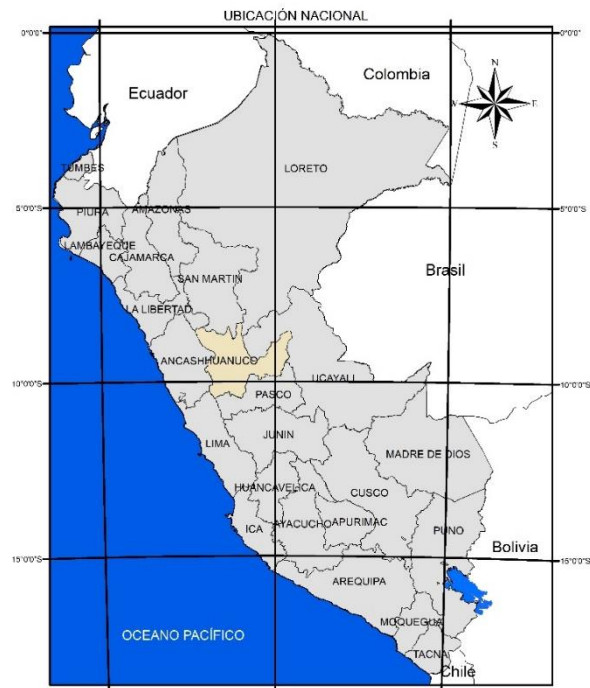
INFORME DE ENSAYO N° 19020

Métodos de ensayo empleados			
Tipo de Ensayo	Método de referencia	Año	Título
Turbiedad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed.	2017	Turbidity. Nephelometric Method.
Sólidos suspendidos totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed	2017	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C.
Demanda química de oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed	2017	Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method



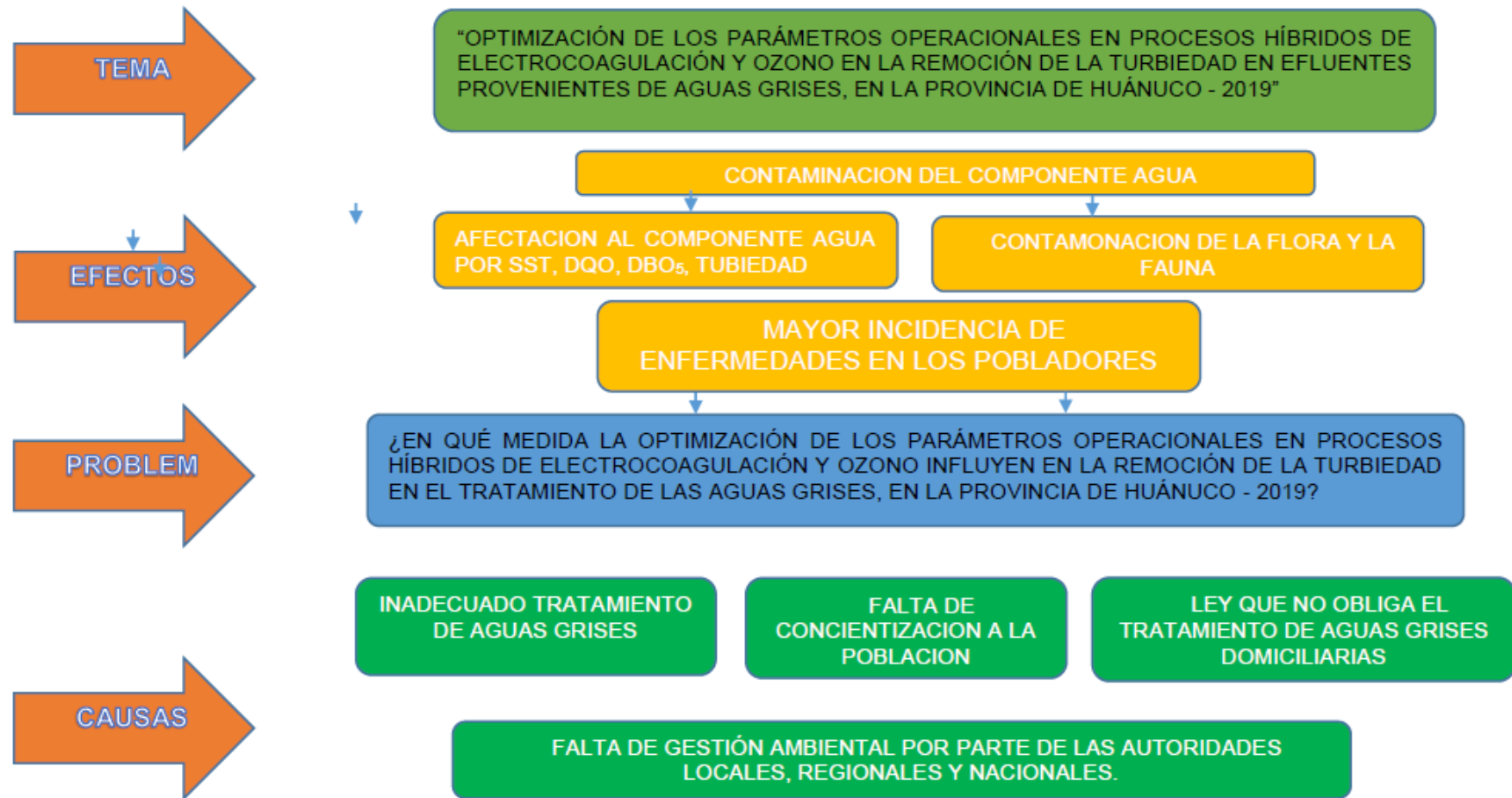
JEFE DE LABORATORIO

Alexander Alza Zamudio

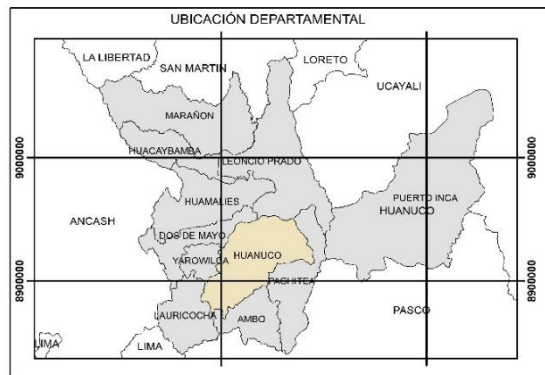
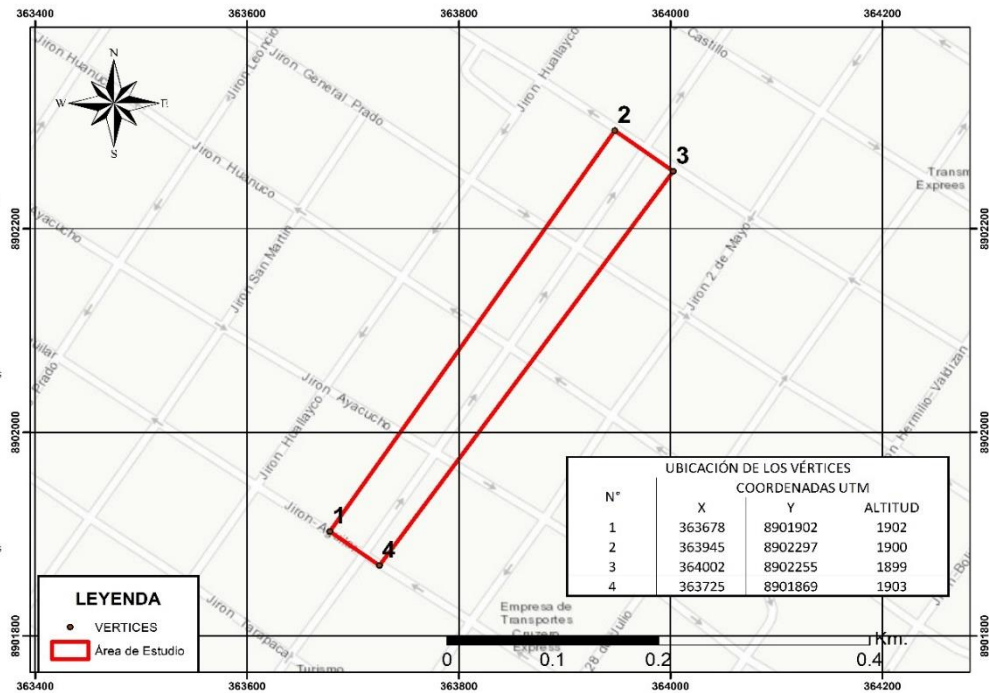
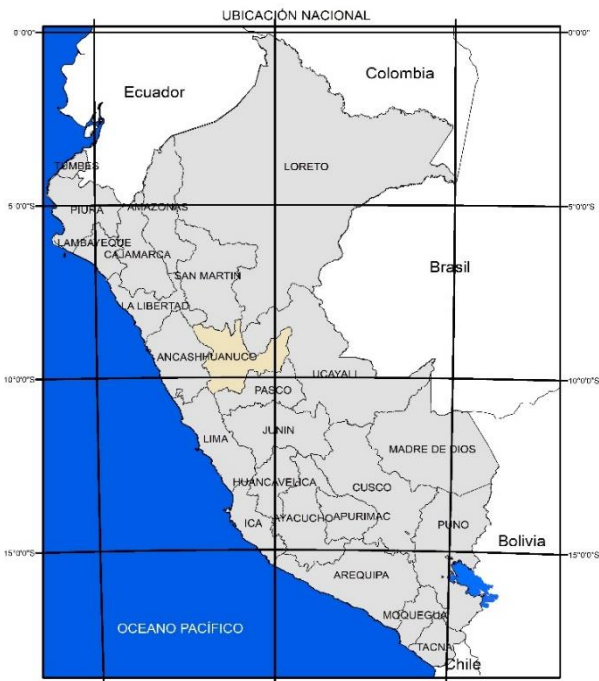


 UDA UNIVERSIDAD DEL ALTIPLANO	UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO E.A.P. DE INGENIERÍA AMBIENTAL	 INGENIERÍA AMBIENTAL
Proyecto: "OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES EN PROCESOS HÍBRIDOS DE ELECTROCOAGULACIÓN Y OZONO EN LA REMOCIÓN DE LA TURBIDEDAD EN EFLUENTES PROVENIENTES DE AGUAS GRISIS, EN LA PROVINCIA DE HUÁNUCO - 2019"		
<h2 style="text-align: center;">MAPA DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN</h2>		
Testista: Bach. CRISTIAN JOEL. SALAS VIZCARRA	Lámina : <div style="font-size: 48pt; font-weight: bold; text-align: center;">01</div>	
Asesor: Mg. BERTHA L. CAMPOS RÍOS		
Fuente : GOOGLE MAPS, SAS PLANET	Escala: 1:3 000	

ÁRBOL DE CAUSAS - EFECTOS







Proyecto: OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS OPERACIONALES EN PROCESOS HÍBRIDOS DE ELECTROCOAGULACIÓN Y OZONO EN LA REMOCIÓN DE LA TURBEDAD EN EFLUENTES PROVENIENTES DE AGUAS GRISAS, EN LA PROVINCIA DE HUÁNUCO - 2019	
MAPA DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN	
Tesista: Bach. CRISTIAN JOEL, SALAS VIZCARRA	Lámina:
Asesor: Mg. BERTHA L. CAMPOS RÍOS	02
Fuente: GOOGLE STRET MAPS, SENTINEL	Escala: 1:4 000

EVIDENCIAS FOTOGRAFICAS



Nº 1: Los electrodos de Aluminio.

Fuente: Elaboración propia.



Nº 2: Diagrama de una bomba de lavadora.

Fuente: Elaboración



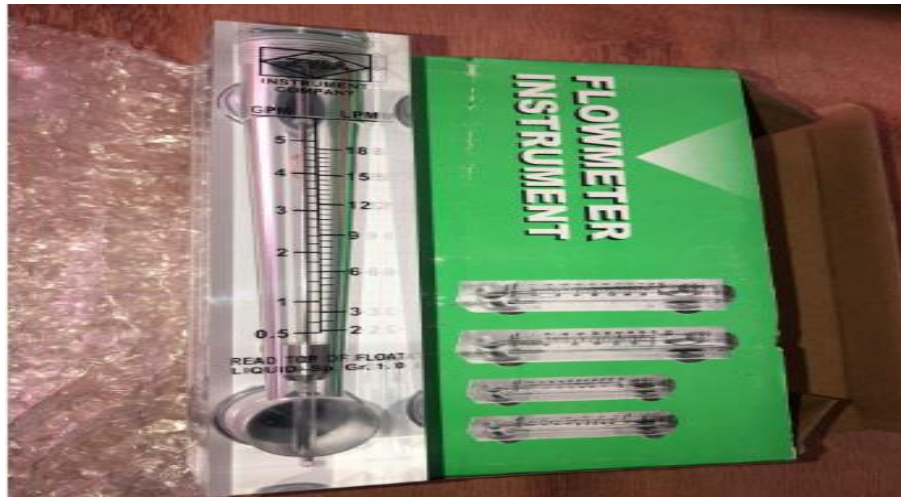
Nº3 Generador de ozono.

Fuente: Elaboración propia



Nº 4; Diagrama de un flujómetro.

Fuente: Elaboración propia



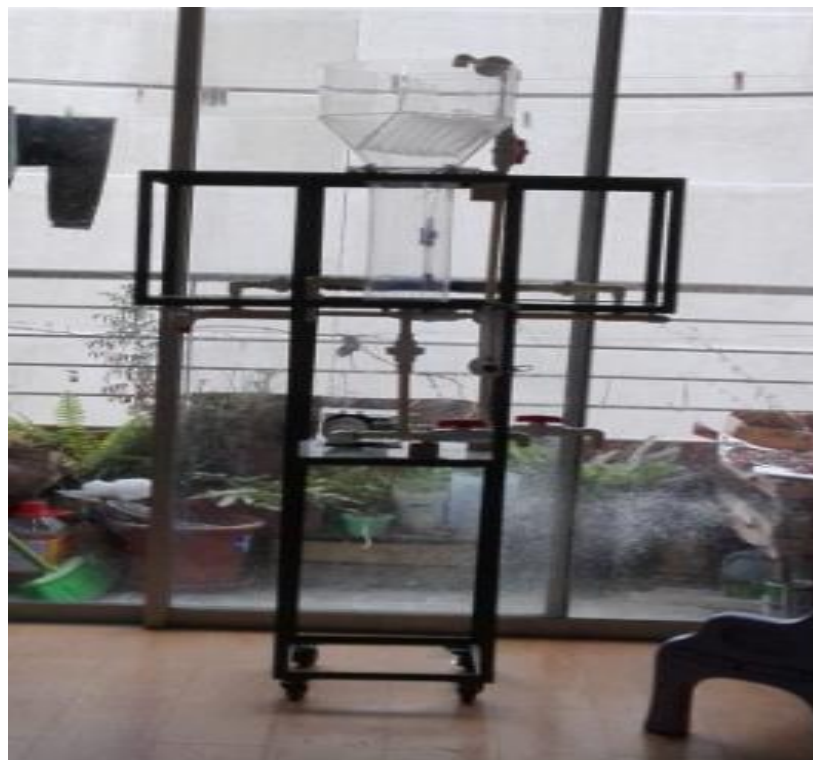
Nº 5: flujómetro.

Fuente: Elaboración propia



Nº6: Rectificador de corriente.

Fuente: Elaboración propia.



Nº7: Celda acoplada de electrocoagulación y ozono, construcción del equipo.

Fuente: Elaboración propia.



Nº8: Diagrama del módulo acoplado de electrocoagulación y ozono.

Fuente: Elaboración propia.



Nº9: Celda acoplada de electrocoagulación y ozono en pleno experimento.

Fuente: Elaboración propia.



Nº 10: Recolección de muestras para su posterior análisis.

Fuente: Elaboración propia.



Nº 11: Muestras antes y después de su tratamiento del más óptimo.

Fuente: Elaboración propia.



Nº 12: Equipos de Turbidímetro y Multiparámetro



Nº 13: verificando la calibración de algunos instrumentos